

Завдання на дипломний проект, дипломну роботу

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Інститут/факультет

електроніки
(повна назва)

Кафедра

мікроелектроніки
(повна назва)

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність (спеціалізація) 6.050801 «Мікро-та наноелектроніка»
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Борісов О. В.
(підпис) (ініціали, прізвище)

« ____ » _____ 2019 р.

ЗАВДАННЯ на дипломний проект (роботу) студенту Скоропляс Вадим Леонідович (прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Оптимальне управління резонансним інвертором для живлення індукційної печі з обмеженням струму.

керівник проекту (роботи) Короліук Дмитро Володимирович, д.ф.-м.н, с.н.с.,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від « ____ » _____ 2019 р. № _____

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 6 червня 2019 року

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Живлення від мережі 220 – 230 В, робоча частота індукційної печі 60 – 120 кГц, резонансна частота індуктора 95 кГц, мертвий час між імпульсами керуючої логіки 0.1 мкс, робоча напруга на індукторі 4 В.

4. Зміст (дипломної роботи) пояснювальної записки (перелік завдань, які потрібно розробити)

1. Вивчення інтегральної схеми управління баластом IR2156 від Vishay (International Rectifier).
2. Переклад відповідного Data Sheet на українську мову.
3. Детальне вивчення блок-схеми IR2156 і управління підсистемами.

4. Детальний опис в тезах. Типові кола з'єднання.
5. Розбір і опис як управляти перестройкою по частоті.
6. Синхронізація частоти за імпульсами напруги.

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо):

– Презентація

6. Консультанти розділів проекту (роботи)*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1.	Вивчення інтегральної схеми управління баластом IR2156 від Vishay (International Rectifier).	01.03.2019	
2.	Переклад відповідного Data Sheet на українську мову.	26.03.2019	
3.	Детальне вивчення блок-схеми IR2156 і управління підсистемами.	15.04.2019	
4.	Детальний опис в тезах. Типові кола з'єднання.	22.04.2019	
5.	Розбір і опис як управляти перестройкою по частоті.	10.05.2019	
6.	Синхронізація частоти за імпульсами напруги.	17.05.2019	

Студент _____
(підпис)

Скоропляс В. Л.
(ініціали, прізвище)

Керівник проекту (роботи) _____
(підпис)

Корольок Д. В.
(ініціали, прізвище)

* Консультантом не може бути зазначено керівника дипломного проекту (роботи)

ABSTRACT

Thesis is executed on 53 pages, they contain 4 sections, 35 illustrations and 15 sources in the list of references.

The object of research is a device for induction heating of metals and metal oxides to ultrahigh temperatures.

The subject of the study is the development of an algorithm for safe entry into the operating mode of the resonant inverter for supplying the induction furnace, as well as the use of chips on the basis of the driver IR2156 to control the resonant inverter.

The purpose of the work is to develop an optimal method for controlling a resonant inverter for an induction furnace in order to prevent the degradation of the device components and overheat the inductor at near-resonant frequencies, as well as the development of a feedback method for reading and controlling the operating frequency.

The first section discusses block diagram of IR2156, typical connection, assignment and use of contacts, as well as investigation of operating modes, control and transition between them. In the second section, the effect of magnetic induction and its application and advantages in the smelting of metals was disassembled, as well as the schemes for the development of induction furnaces. The third section describes the various control methods based on the operational amplifiers, and illustrates the connection schemes of each of them. Describes the method implemented in the project, as well as the scheme of connection and oscillogram of work. The fourth section provides a complete schematic diagram of the device, designed and described the main components that will control the operating frequency of driver generation and influence the process of regulating it.

РЕФЕРАТ

Дипломна робота виконана на 53 сторінках, вони містять 4 розділи, 35 ілюстрацій та 15 джерел в переліку посилань.

Об'єктом дослідження є прилад індукційного розігріву металів та металоксидів до надвисоких температур.

Предметом дослідження є розробка алгоритму безпечного входу в робочий режим резонансного інвертора для живлення індукційної печі, а також використання мікросхеми на основі драйвера IR2156 для керування резонансним інвертором.

Метою роботи є розробка оптимального методу керування резонансним інвертором для індукційної печі за для запобігання деградації компонентів пристрою та перегріву індуктора на частотах близьких до резонансної, а також розробка методу зворотного зв'язку для зчитування та регулювання робочої частоти.

В першому розділі розглянуто блок схему IR2156, типове підключення, призначення та використання контактів, а також дослідження режимів роботи, управління та перехід між ними. У другому розділі був розібраний ефект магнітної індукції та його застосування і переваги при плавці металів, а також наведені схеми для розробки індукційних печей. Третій розділ описує різні методи регулювання на основі операційних підсилювачів, та ілюструє схеми підключення кожного із них. Описується метод який реалізований у проекті, а також наведена схема підключення та осцилограма роботи. В четвертому розділі наведена повна принципова схема приладу, розраховані та описані основні компоненти які будуть керувати робочою частотою генерації драйвера та впливати на процес регулювання нею.

ЗМІСТ

Перелік скорочень.....	3
Вступ	4
Розділ 1. Розгляд інтегральної схеми IR 2156 та застосування	6
1.1 Драйвер управління баластом IR 2156 від Vishay (International Rectifier)	6
1.2 Детальний опис блок схеми драйвера	9
1.2.1 Режим блокування під напругою (UVLO).....	9
1.2.2 Режим підігріву (PH).....	12
1.2.3 Режим запалювання (IGN).....	15
1.2.4 Режим виконання (RUN)	16
1.2.5 Скидання зниженої напруги шини постійного струму	17
1.2.6 Режим помилки (FAULT)	17
1.3 Дизайнерські рівняння	18
1.3.1 Програмування мертвого часу (Dead-time).....	18
1.3.2 Частота запуску програми	19
1.3.3 Частота програми попереднього нагріву	19
1.3.4 Програмування часу попереднього нагрівання.....	20
1.3.5 Програмування максимального струму запалювання	20
1.4 Діаграма стану та її опис	21
1.5 Висновки по розділу 1	24
Розділ 2. Дослідження та опис роботи індукційної печі, типова схема застосування	25
2.1 Принцип роботи індукційного нагрівача	25
2.2 Індукційний нагрів та скін ефект	27
2.3 Приклад схеми типового застосування	28
2.4 Переваги пристрою.....	30

2.5 Висновки по розділу 2	31
Розділ 3. Опис та схеми регулювання частотою	32
3.1 Основні типи регуляторів	32
3.2 Вибраний метод регулювання	41
3.3 Схема та осцилограма регулятора	43
3.4 Висновки по розділу 3	44
Розділ 4. Схема електрична принципова	45
4.1 Опис основних компонентів	45
4.2 Висновки по розділу 4	49
Висновки	50
Список літератури	51
Додатки	53
Додаток 1. Схема електрична принципова	53

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ІС – інтегральна схема

ІМС – інтегральна мікросхема

MOSFET – силовий транзистор

ККД – коефіцієнт корисної дії

ОУ – операційний підсилювач

К_у – коефіцієнт підсилення

АС – змінний струм

DC – постійний струм

ВСТУП

Індукційний нагрів популярний сучасний метод обробки металу під впливом струмів високої частоти. Проходячи через індуктор, електрична енергія стає потужнішою, перетворюючись в електромагнітне поле. Вихрові струми цього поля проникають у виріб, який повинний розміщуватись в безпосередній близькості з індуктором, як правило, в самому індукторі. У металі струми високої частоти трансформуються в теплову енергію, здійснюючи нагрів виробу.

Принцип індукційного нагріву досить простий, саме з цієї причини його стали активно застосовувати в промисловості.

Зараз практично не залишилося підприємств що працюють з металом, які не знали б про переваги індукційного обладнання. Сфера застосування індукції не обмежується промисловими підприємствами, і струми високої частоти намагаються активно застосовувати для роботи різного обладнання, наприклад, кухонних плит, проте в промисловості індукційний нагрів отримав більш поширене застосування.

На сьогоднішній день індукційний нагрів активно застосовується на наступних підприємствах:

- Металургійні заводи, що займаються випуском деталей і різних виробів з металу;
- Ливарні цехи;
- Ювелірні майстерні. Найчастіше ювеліри використовую індукційну піч, яка дозволяє плавити дорогоцінні метали, отримуючи якісний сплав;
- Дослідницькі лабораторії. Індукційний нагрів дозволяє отримати чистіші і якісні зразки сплавів, тому в лабораторіях використовують індукційну піч для отримання дослідних зразків сплавів металів.

Головна причина активного застосування індукційного нагрівача в промисловості - це величезна кількість переваг, якими володіє кожна

установка. Індукційний нагрів має безліч плюсів, серед яких хочеться виділити основні: економія виробничих ресурсів, можливість збільшення продуктивності підприємства, якісна обробка виробів, безпеку для співробітників підприємства, автоматизований контроль за робочим процесом.

Саме налаштувати автоматизований контроль системи управління індукційною піччю і є метою цієї роботи. На основі цього буде застосований нестандартний для цієї роботи драйвер для баласту люмінесцентних ламп IR2156 від Vishay (International Rectifier), ця мікросхема володіє всіма потрібними для нас функціями, а також є дуже сильно розповсюдженою та не дорогою у ціні, що робить її ідеальною для вирішення поставленої задачі нашого застосування.

РОЗДІЛ 1

РОЗГЛЯД ІНТЕГРАЛЬНОЇ СХЕМИ IR 2156 ТА ТИПОВЕ ЗАСТОСУВАННЯ

1.1 Драйвер управління баластом IR 2156 від Vishay (International Rectifier)

Особливості драйвера IR2156:

- Управління баластом і напівмостовий драйвер в одній ІМС;
- Програмована частота підігріву;
- Програмований час підігріву;
- Внутрішня рампа запалення;
- Програмований поріг струму;
- Програмована частота запуску;
- Програмований мертвий час;
- Відновлення напруги на шині постійного струму;
- Вимикач з гістерезисом;
- Вбудований обмежуючий стабілітрон (15.6 В) на лінії Vcc;
- Мікропотужність при старті (150 мкА);
- Стійкість вихідних комутаторів і захист від електростатичного розряду (ESD).

IR2156 внутрішня блок-схема якого показана на рис 1.2, є високовольтний напівмостовий драйвер з програмованим генератором, а також представляє собою логічну схему для отримання завершеної інтегральної схеми управління баластом. До функцій IR2156 відносяться програмовані попередній розігрів і робоча частота, програмований час попереднього розігріву, програмований час паузи, а також програмований струмовий захист від перевантаження.

Оригінальні функції захисту, такі як захист від несправності лампи при деформації її корпусу, несправності нитки накаливання, а також функція автоматичного перезапуску були включені в конструкцію. IR2156 доступний в корпусах 14-виходів PDIP (рис.1.1 (а)) і 14-виходів SOIC (рис.1.1 (б)).

Розташування контактів драйвера показано на рис 1.3, та їх призначення описано в таблиці 1.1.

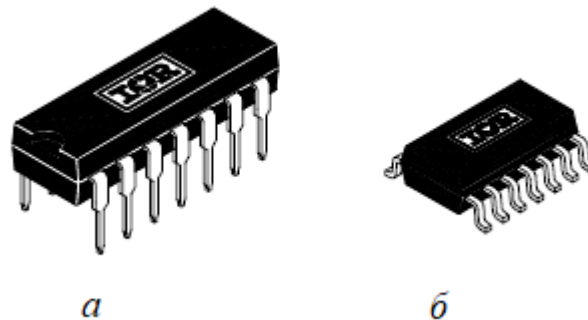


Рис.1.1. Корпуса IR 2156:

а – 14-виходів PDIP; *б* – 14-виходів SOIC (вузький корпус)

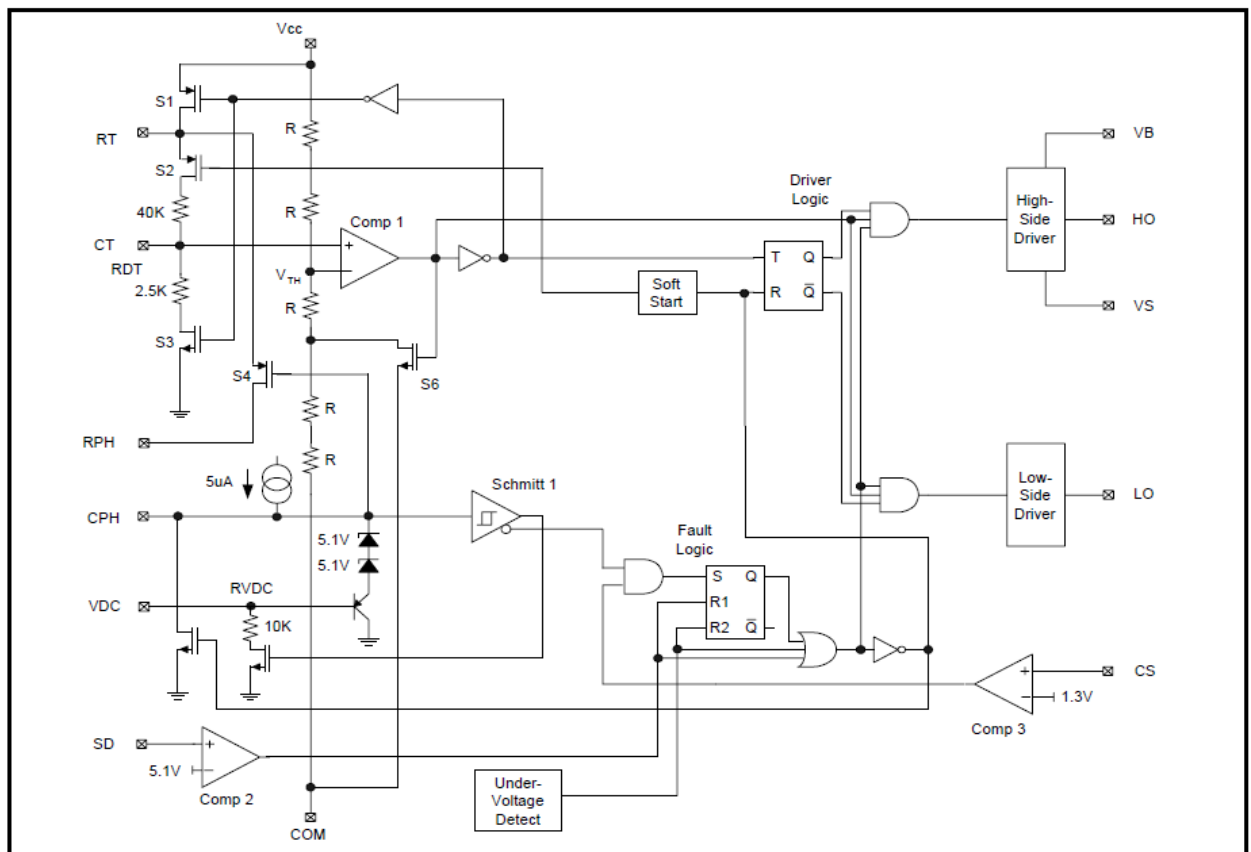


Рис.1.2. Блок схема IR 2156

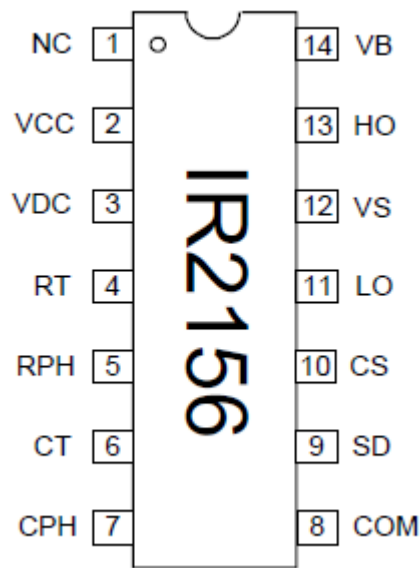


Рис.1.3. Призначення контактів

Таблиця 1.1. Опис контактів

N	Символ	Функція
1	NC	Не використовується
2	VCC	Живлення логіки і низьковольтної частини драйвера
3	VDC	Вхід старту інтегральної схеми та контролю шини постійного струму
4	RT	Резистор мінімальної частоти
5	RPH	Резистор частоти попереднього розігріву
6	CT	Конденсатор генератора
7	CPH	Конденсатор схеми попереднього розігріву
8	COM	Загальне живлення мікросхеми і сигналів
9	SD	Вхід виключення
10	CS	Вхід контролю струму
11	LO	Вихід низьковольтного драйвера
12	VS	Лінія плаваючого повернення високовольтної

повністю функціональним для активації драйвера на високих і низьких виходах сигналу. На рис. 1.5 показано ефективне постачання напруги використовуючи пусковий струм IR2156 разом з заправляючим насосом від баласту вихідного каскаду (RSUPPLY, CVCC, DCP1 і DCP2).

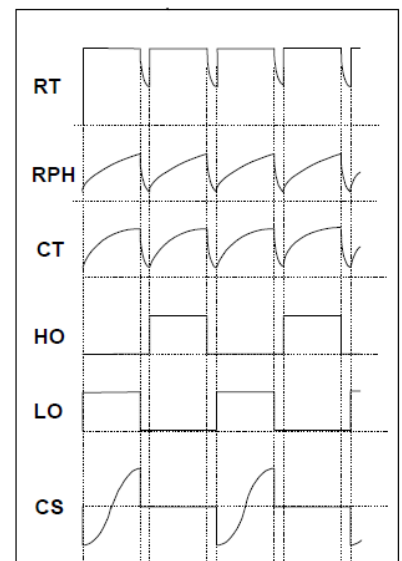
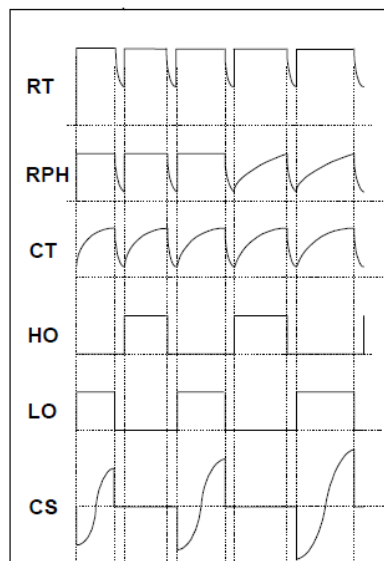
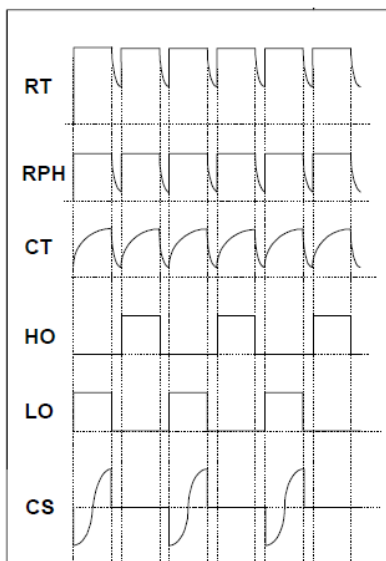
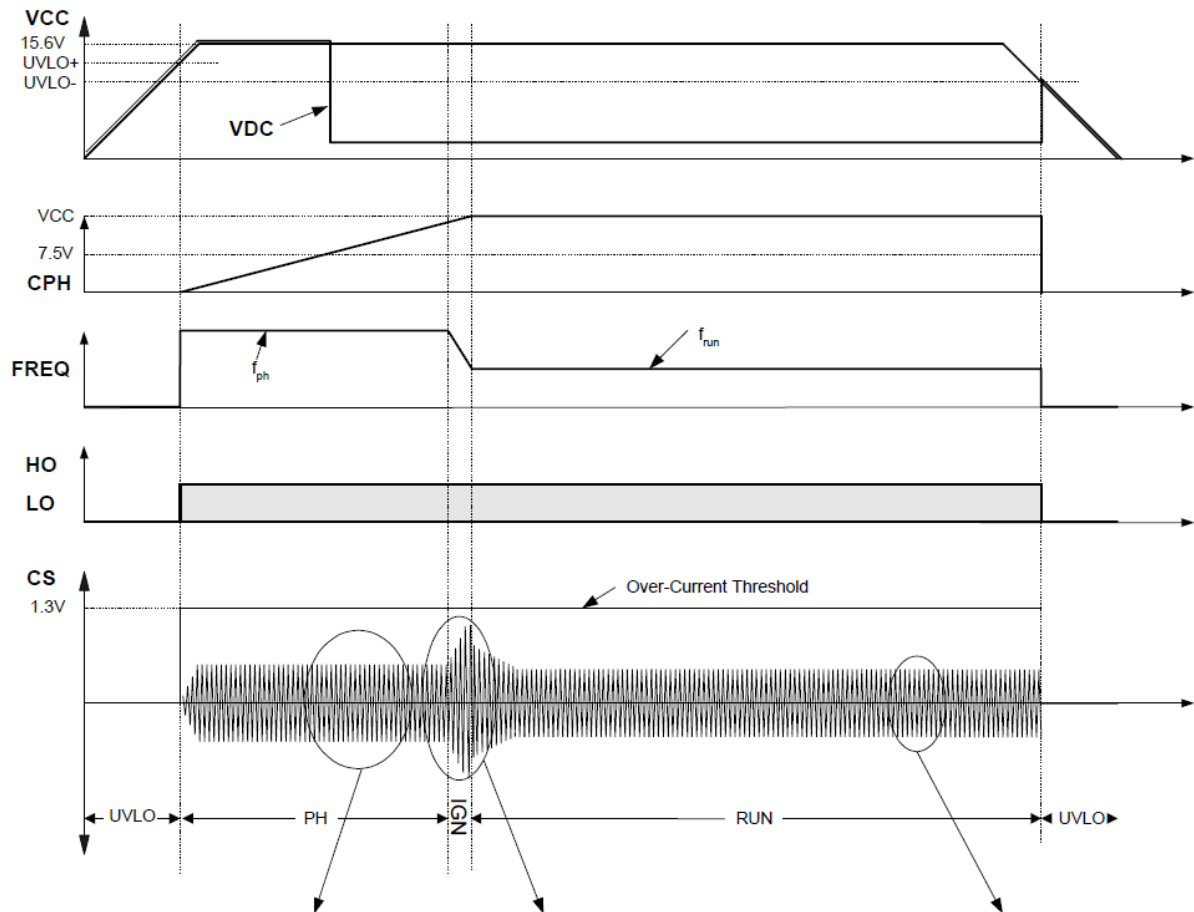


Рис.1.7. Часові діаграми (нормальна робота)

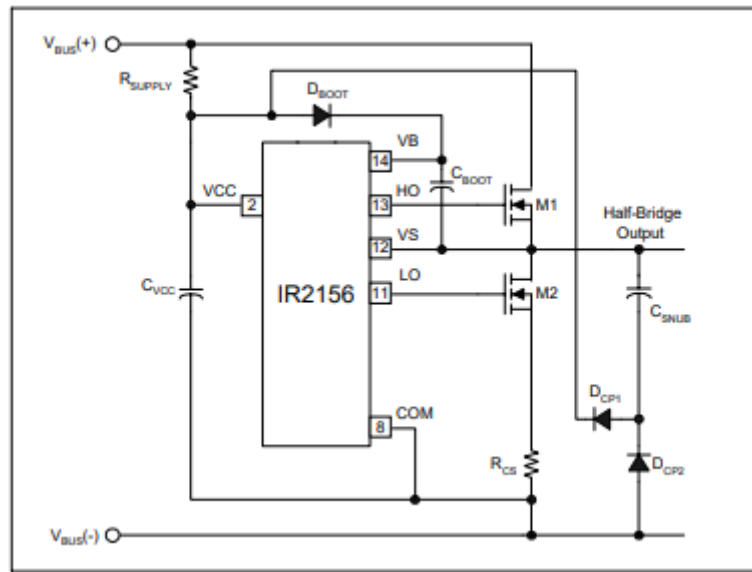


Рис.1.5. Схема пуску та живлення

Пусковий конденсатор (CVCC) заряджається від струму через резистор живлення (RSUPPLY) мінус струм пуску, що йде на живлення мікросхемою. Цей резистор вибирається для забезпечення максимального запуску при подвійному струмі для того щоб забезпечити гарантований запуску баласту на низькій лінії для вхідної напруги. Після того, як напруга конденсатора на VCC досягає порогової величини запуску, а на контакті SD нижче 4.5 В, IC включається, HO і LO починають генерувати коливальний сигнал. Конденсатор починає розряджатися через збільшення струму на операційній IC (рис. 1.6).

Під час циклу розряду випрямлений струм від зарядного насоса заряджає конденсатор вище порогового значення відключення IC. Зарядний насос і внутрішні випрямлені (15.6 В) мікросхема IC приймає на себе як напругу живлення. Стартовий конденсатор і демпферний конденсатор повинні бути обрані такими, щоб струм був достатній для доступного живлення по всьому баласту при різних умовах роботи. Початковий діод (D_BOOT) і конденсатор живлення (C_BOOT) забезпечують напругу живлення для схеми

високовольтної лінії драйвера. Для того щоб гарантувати, що джерело живлення заряджено до першого імпульсу на виводі НО, перший імпульс від виходу драйвера виходить від контакту LO. Під час режиму блокування по заниженій напрузі високий і низький виходи драйверів НО і LO є низькими, контакт СТ внутрішньо підключається до СОМ, щоб вимкнути осцилятор і генерація припинилась, а контакт СРН внутрішньо з'єднується до СОМ для скидання часу підігріву.

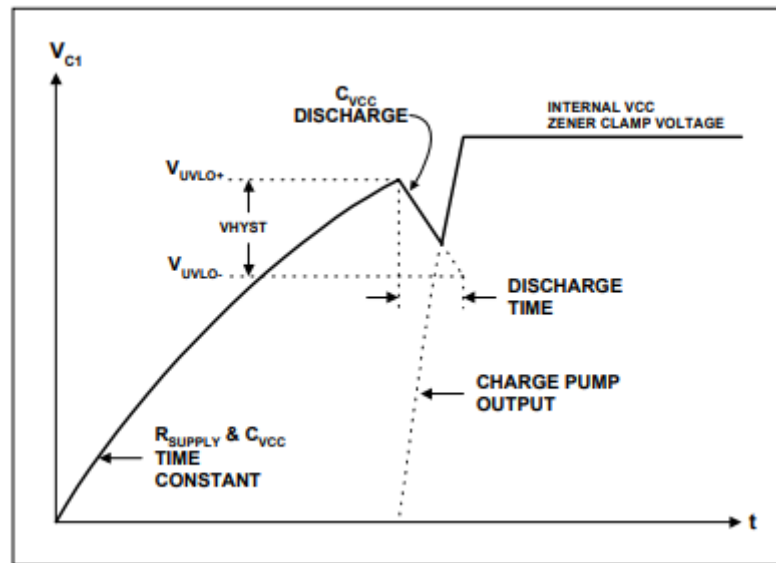


Рис.1.6 Напруга живлення конденсатора (CVCC).

1.2.2 Режим підігріву (РН)

Режим попереднього нагріву визначається як стан ІС який виконується під час нагрівання нитки накалювання лампи до її правильної температури випромінювання. Це необхідний процес для максимізації терміну служби лампи і зменшення необхідної напруги запалювання. Входить IR2156 в режим підігріву, коли VCC перевищує UVLO позитивного порогу. НО і LO починають генерувати коливання на частоті попереднього нагрівання з 50% - вим обов'язковим циклом і з мертвим часом, який встановлюється значення зовнішнього конденсатора синхронізації, СТ і внутрішнім резистором

мертвого часу, RDT. Контакт CPH відключений від COM і має внутрішнє джерело струму на (5 мкА) (рис. 1.8) яке заряджає зовнішній підігрівачий конденсатор на контакті CPH лінійно. Захист від перенавантаження контакт CS відключається під час попереднього нагрівання. Частота підігріву визначається паралельною комбінацією резисторів R_T і R_{PH} , разом з синхронізуючим конденсатором C_T . Заряди і розряди C_T між $1/3$ і $3/5$ V_{CC} (див. Часова діаграма, рис. 1.7). C_T заряджається експоненціально через паралельну комбінацію R_T і R_{PH} , з'єднаних внутрішньо з V_{CC} через MOSFET S1 (можна спостерігати на блок схемі). Час заряду C_T від $1/3$ до $3/5$ V_{CC} є часом включення відповідного драйвера вихідного затвора HO або LO. Після того, як C_T перевищує $3/5$ V_{CC} , MOSFET S1 вимикається, відключаючи R_T і R_{PH} від V_{CC} . C_T в подальшому розряджається експоненціально через внутрішній резистор, RDT, через MOSFET S3 до COM.

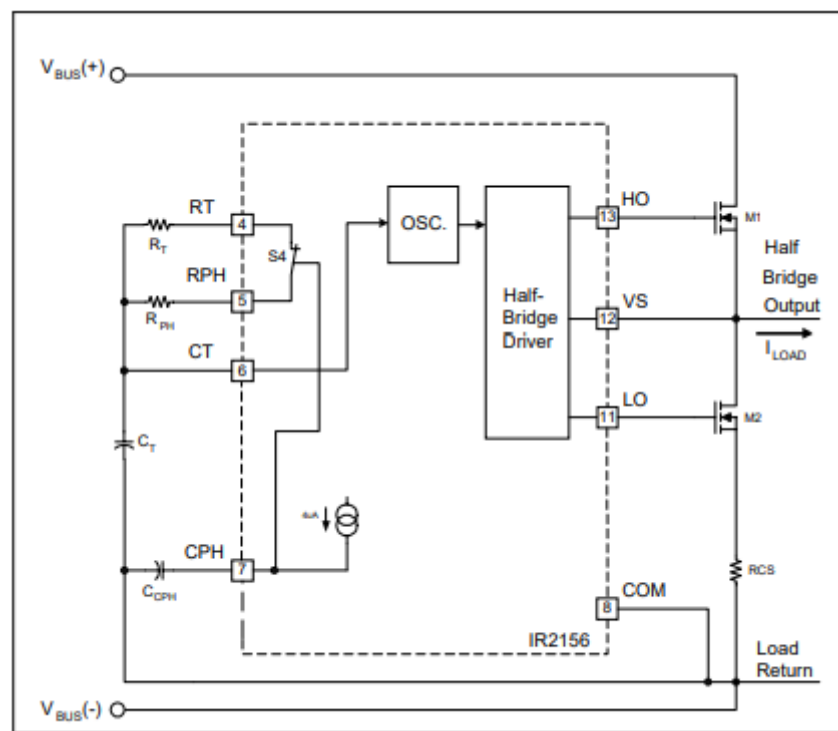


Рис. 1.8. Схема попереднього нагріву

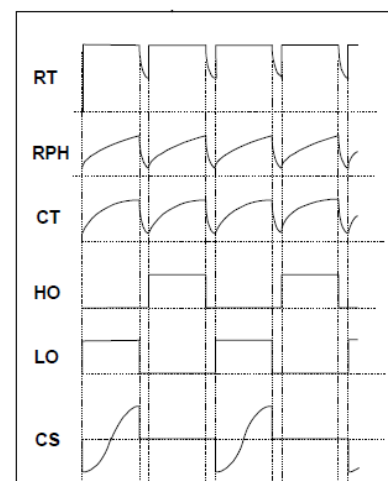
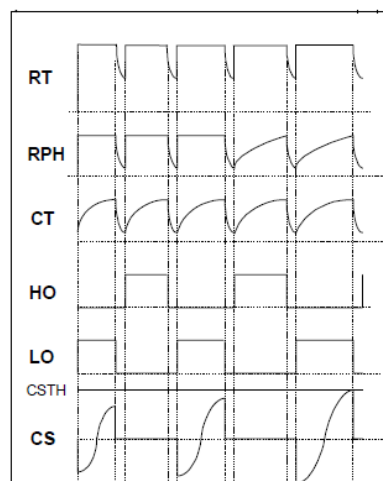
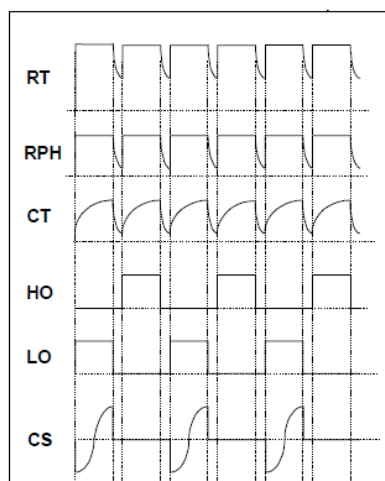
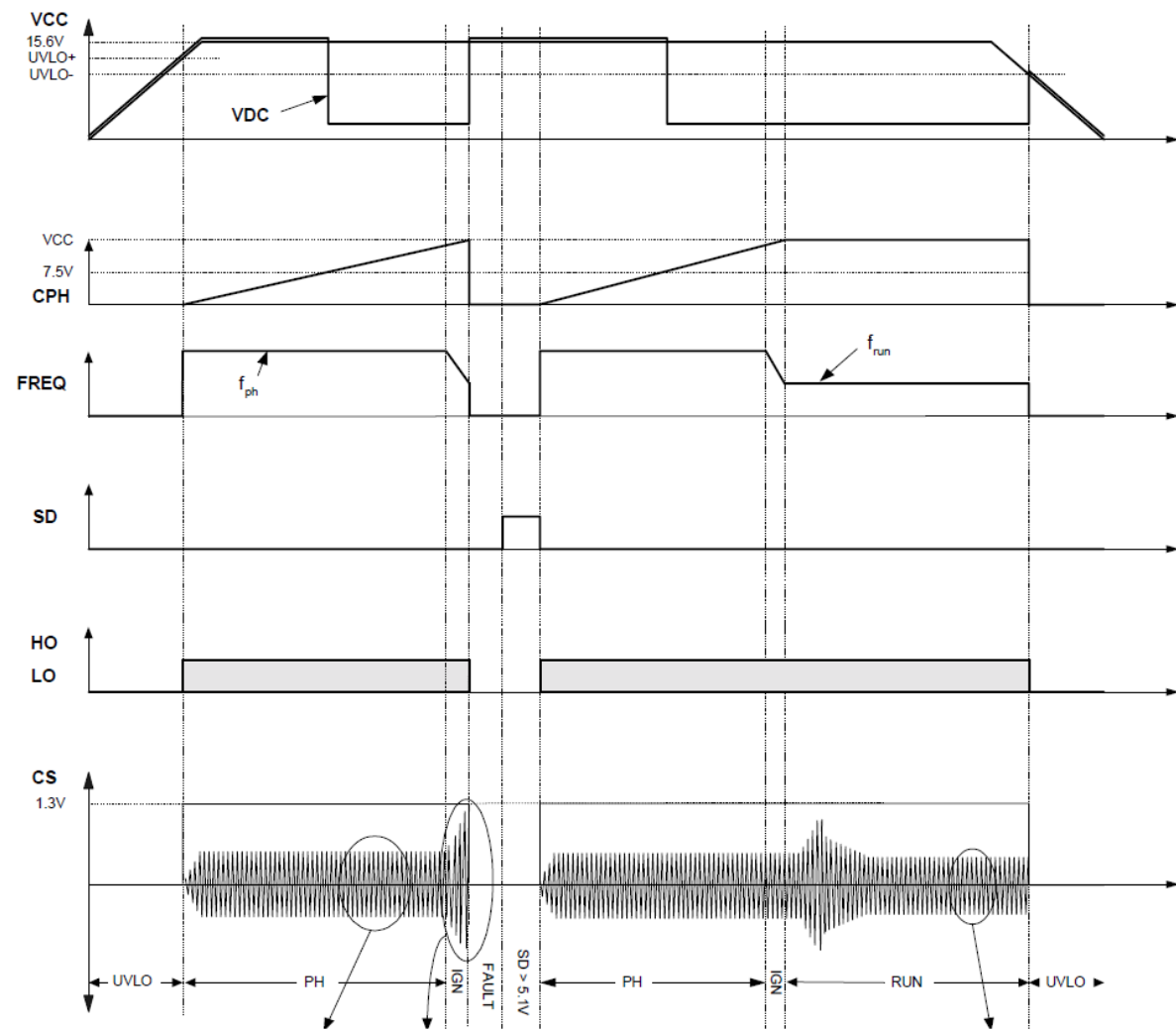


Рис. 1.10. Часові діаграми (порушення стану)

Час розрядки СТ від $3/5$ до $1/3$ VCC є мертвим часом (генерація вимкнена) драйверів вихідних воріт НО і LO. Вибране значення СТ разом з RDT, таким чином запрограмує бажаний мертвий час (див. «Рівняння дизайну», (1) і (2)). Як тільки СТ розряджається нижче $1/3$ VCC, MOSFET S3 вимикається, відключаючи RDT від COM, і MOSFET S1 включається, знову підключаючи RT і RPH до VCC.

Частота залишається на частоті підігріву до того часу, поки напруга на виводі CPN не перевищить 13В, а IC не перейде в режим запалювання. Під час режиму попереднього нагрівання, як перевантажувальний захист, так і перенапруження шини постійного струму включаються, коли контакт CPN перевищує 7,5V.

1.2.3 Режим запалювання (IGN)

Режим запалювання визначається як стан СТ який знаходиться на встановленні високої напруги через лампу, необхідну для запалювання лампи. IR2156 переходить в режим запалювання коли напруга на виводі CPN перевищує (13 В). Контакт CPN з'єднаний внутрішньо з затвором (рис. 1.9) а р-канальний MOSFET (S4) з'єднує вивод RPH з виводом RT. Коли на контакті CPN напруга перевищує (13 В), напруга живлення на MOSFET S4 починає падати нижче порогу включення S4. Коли напруга на контакті CPN продовжує підійом до VCC, перемикач S4 повільно вимикається. В результаті чого резистор RPH плавно відключаються від резистора RT, що супроводжує робочу частоту для плавного падіння з частота підігріву, через частоту запалювання, до кінцевої частоти запуску та роботи драйверів. Перевантаження через поріг на виводі CS захистить баласт від стану несправності лампи через удар або відкриту нитку розжарювання. Напруга на

виводі CS визначається нижнім напівмостовим струмом MOSFET, що протікає через зовнішній струмовий резистор RCS. Саме тому резистор RCS програмує максимально допустимий максимум струму запалювання (отже і максимальне значення напруги запалювання) баластового вихідного каскаду. Максимальний струм запалювання не повинен перевищувати максимально допустимі поточні параметри вихідного МОП-транзистора. Якщо ця напруга перевищує внутрішній поріг (1.3 В), ІС увійде в режим несправності і обидва виходи драйверних воріт HO і LO будуть зафіксовані на подачу низького сигналу.

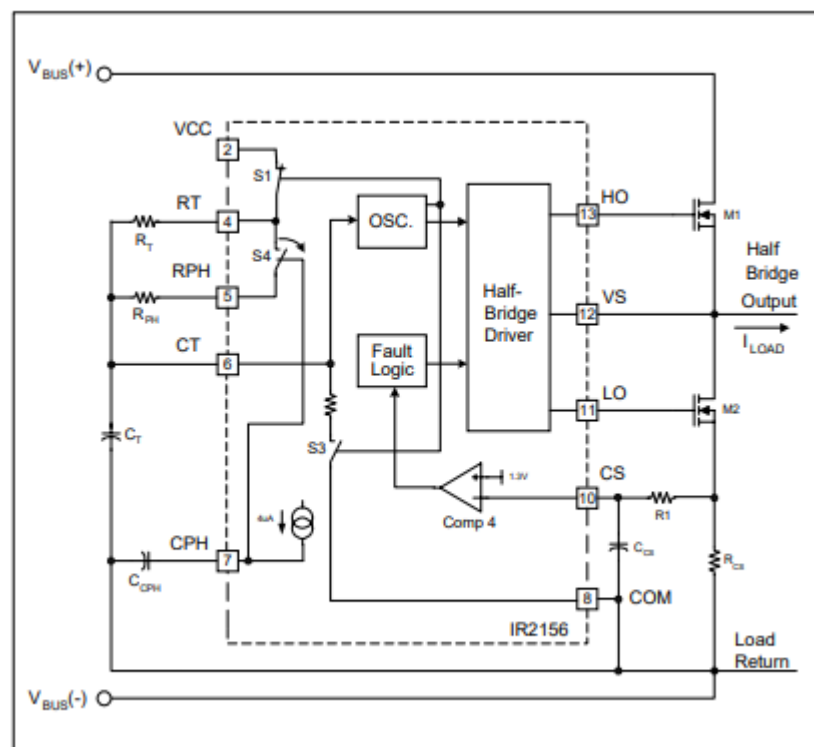


Рис. 1.9. Схема запалювання

1.2.4 Режим виконання (RUN)

Як тільки лампа успішно запалиться, баласт входить в режим роботи. Визначено режим виконання як стан в якому знаходиться ІС під час роботи, коли дуга лампи знаходиться на встановлені і лампа розігрівается до заданого

рівня потужності. Режим роботи частоти коливань сигналу драйверів визначається резистором R_T і синхронізацією CT конденсатора (див. “Дизайнерські рівняння”, Рівняння (3) і (4)). Якщо відбувається жорстке перемикання на напівмості в будь який момент часу роботи через пробій елементу або видалення баласту, напруга на резисторі зчитування струму, R_{CS} , перевищить внутрішній поріг (1,3 В) і тоді ІС увійде в Режим несправності. Обидва драйвера на затворах виводів IC , HO і LO , буде зафіксовано низький сигнал, генерація зупиниться.

1.2.5 Скидання зниженої напруги шини постійного струму

Якщо шина постійного струму зменшується занадто низько під час виключення стану лінії або стану перевантаження, резонансний вихідний каскад лампи може зміщуватися поблизу або нижче резонансу. Це може вплинути на дуже жорстке перемикання на напівмості, що може пошкодити перемикачі напівмосту. Щоб захистити від цього вивід V_{DC} вимірює напругу шини постійного струму і підтягує її вниз до виводу CPH лінійно, коли напруга на виводі V_{DC} зменшується на (10.9 В) нижче V_{CC} . Це призводить до закриття р-канального MOSFET S_4 (рис. 1.9) як шина постійного струму, зменшує і частота зміщення вище до безпечної робочої точки вище над резонансом. Рівень шини постійного струму, на якому зміщується частота виникає внаслідок встановлення зовнішнього резистора R_{BUS} і внутрішнього резистора R_{VDC} . Підтягуючи на контакт CPH , рампа запалювання також скидається. Тому, якщо лампа гасне через дуже низький рівень постійного струму на шині, лампа буде автоматично запалюватися коли постійний струм шини знову зростає. Внутрішній R_{VDC} резистор підключений між контактами V_{DC} і COM коли CPH перевищує (7.5 В) (в режимі попереднього нагрівання).

1.2.6 Режим помилки (FAULT)

Якщо напруга на контакті CS, перевищить (1.3 В) у будь-який час після підігріву, режим роботи ІС входить в режим несправності і обидва виходи на затвори драйверів, НО і LO, зафіксують в низький стан сигналу. СРН розряджається до СОМ для скидання часу підігріву, і СТ розряджається до СОМ для вимкнення генератора. Щоб вийти з режиму помилки, на VCC потрібно повторно буде подати сигнал нижче порогового значення відхилення UVLO, або вимкнення контакта SD, потрібно буде витягнути вище (5.1 В). Будь-який з них змусить ІС вийти в режим UVLO (рис. 1.10). Після того, як VCC перевищує напругу на порозі повороту, і SD нижче (4.5 В), ІС почне генерувати коливання знову в режимі попереднього нагрівання.

1.3 Дизайнерські рівняння

Результати наступних конструкцій рівняння можуть дещо відрізнятися від експериментальних вимірювань за рахунок допусків ІС, також може вплинути факт що осцилятори перевищуються і знижуються через внутрішній час відгуку компаратора.

1.3.1 Програмування мертвого часу (Dead-time)

Мертвий час між імпульсами на виходах драйвера воріт НО і LO запрограмований за рахунок синхронізуючого конденсатора СТ і внутрішнього часового резистора RDT. Мертвий час - час за який конденсатор СТ розрядиться від 3 / 5 VCC до 1 / 3 VCC і розраховується як:

$$t_{DT} = C_T \cdot 2000 \quad (1)$$

$$C_T = \frac{t_{DT}}{2000} \quad (2)$$

1.3.2 Частота запуску програми

Остаточна частота запуску запрограмовується за допомогою синхронізуючого резистора R_T і синхронізуючого конденсатора C_T . Час за який конденсатор C_T зарядиться від $1/3 V_{CC}$ до $3/5 V_{CC}$ визначається як час подачі імпульсів драйвером на виходах HO і LO . Таким чином, частота виконання задається як:

$$f_{RUN} = \frac{1}{2 \cdot C_T (0.6 \cdot R_T + 2000)} \quad (3)$$

$$R_T = \frac{1}{1.12 \cdot C_T \cdot f_{RUN}} - 3333 \quad (4)$$

1.3.3 Частота програми попереднього нагріву

Частота підігріву запрограмована за допомогою синхронізації резисторів R_T і R_{PH} , а також за синхронізуючим конденсатором C_T . Резистори синхронізуються паралельно внутрішньо, протягом часу підігріву, тому частота підігріву подається як:

$$f_{PH} = \frac{1}{2 \cdot C_T \cdot \left(\frac{0.6 \cdot R_T \cdot R_{PH}}{R_T + R_{PH}} + 2000 \right)} \quad (5)$$

$$R_{PH} = \frac{\left(\frac{1}{1.12 \cdot C_T \cdot f_{PH}} - 3333 \right) \cdot R_T}{R_T - \left(\frac{1}{1.12 \cdot C_T \cdot f_{PH}} - 3333 \right)} \quad (6)$$

1.3.4 Програмування часу попереднього нагрівання

Час попереднього нагрівання визначається часом за який зможе зарядитися конденсатор на контакті СРН до 13 В (припускаючи $V_{CC} = 15$ В). Внутрішнє джерело струму 4,3 мкА виходить з контакта СРН. Таким чином, час попереднього нагрівання визначається як:

$$t_{PH} = C_{PH} \cdot 3.02e6 \quad (7)$$

$$C_{PH} = t_{PH} \cdot 0.331e-6 \quad (8)$$

1.3.5 Програмування максимального струму запалювання

Максимальний струм запалювання запрограмований зовнішнім резистором R_{CS} і має внутрішній поріг 1.25 В. Цей поріг визначає граничну величину струму баласту, яка може бути перевищена коли частота зміщується в напрямку резонанс під час займання і як наслідок лампа не запалюється. Максимальний струм запалювання задається як:

$$I_{IGN} = \frac{1.25}{R_{CS}} \quad (9)$$

$$R_{CS} = \frac{1.25}{I_{IGN}} \quad (10)$$

1.4 Діаграма стану та її опис

На рис. 1.11 можна спостерігати детальний опис всіх станів в яких може перебувати драйвер IR2156 та взаємодія між ними, умови при яких відбувається перехід від одного стану до другого, та в якому саме напрямку, все зображено у схематичній діаграмі.

Рижими роботи IC:

- Режим UVLO – в даному стані драйвер знаходиться в режимі очікування, тобто IC нічого не генерує, але через мікросхему проходить мінімальний струм (120 мкА), конденсатори СТ та СРН розряджені. Якщо на контакт VCC подати більше (11.5 В), а на контакт SD менше (5.1 В), драйвер включиться і перейде в режим PREHEAD;
- Режим PREHEAD – це режим розігріву, в даному стані драйвер повністю функціонує, резистори RT і RPH підключені внутрішньо паралельно, конденсатор СТ працює в циклі заряд розряд тим самим дає сигнал для генерації драйвером коливань запрограмованої частоти f_{ph} , паралельно із процесом генерації заряджається конденсатор СРН ємність якого впливає на час протягом якого виконується даний режим нагріву, тобто коли конденсатор СРН зарядиться IC перейде в режим запалювання. Якщо під час роботи даного режиму напруга на VCC впаде нижче (9.5 В), або на SD стане більшою за (5.1 В) мікросхема перейде назад в режим очікування (UVLO);
- Режим Ignition Ramp – стан драйвера який розрахований на запалювання лампи, резистор RPH розмикається ключом від схеми що

призводить до постопового зменшення частоти, частота розігріву (f_{ph}) переходить в робочу частоту (f_{run}), струм при цьому росте, якщо під час даного режиму напруга на контакті CS не перевищить (1.3 В) драйвер перейде в режим роботи коли напруга на контакті CPН перевищить (13 В), в протележному випадку IC перейде в режим помилки;

- Режим RUN – стан драйвера в якому генерація коливань проходить на робочій частоті як завгодно довго. Режим буде виконуватися до тих пір поки IC не вийде в режим очікування (UVLO), умови тіж самі що і у режимі розігріву, або не перейде в режим помилки який включаєся при напрузі на CS більше (1.3 В);
- Режим FAULT – режим помилки, в даний стан драйвер входить при перенагрузці баласту щоб не пошкодити компоненти схеми та для продовження терміну служби самої лампи, або просто при несправності чи видалені лампи. В даному стані генерація сигналу на виходах драйвера НО, LO припиняється, на контакті VCC досі проходить напруга в (15.6 В), відбувається це в звязку із тим що коли на контакті CS напруга стає більшою за (1.3 В) внутрішнь у схемі ключ переключає контакт СТ напряму на вихід COM, що розряжає його на землю, тим самим зупиняє генерацію сигналів на драйвері. Також у режимі помилки ще розряжається конденсатор CPН, для того щоб коли робота генератора відновиця, драйвер знов починав генерацію із режиму нагріву не пропускаючи його. Так ось щоб відновити роботу IC потрібно вийти із режиму помилки назад в режим очікування (UVLO), це можна досягти зменшивши напругу на контакті VCC менши (9.5 В), або на контакті SD збільшити її вище (5.1 В), драйвер знову вийде в стан очікування і можна ще раз запускати режим розігріву (PREHEAD).

Детальніше що відбувається при кожному режимі та перехід драйвера із одного стану в інший можна спостерігати на часових діаграмах (рис. 1.7

нормальна робота), вихід ІС в режим помилки та відновлення роботи (рис 1.10 порушення стану).

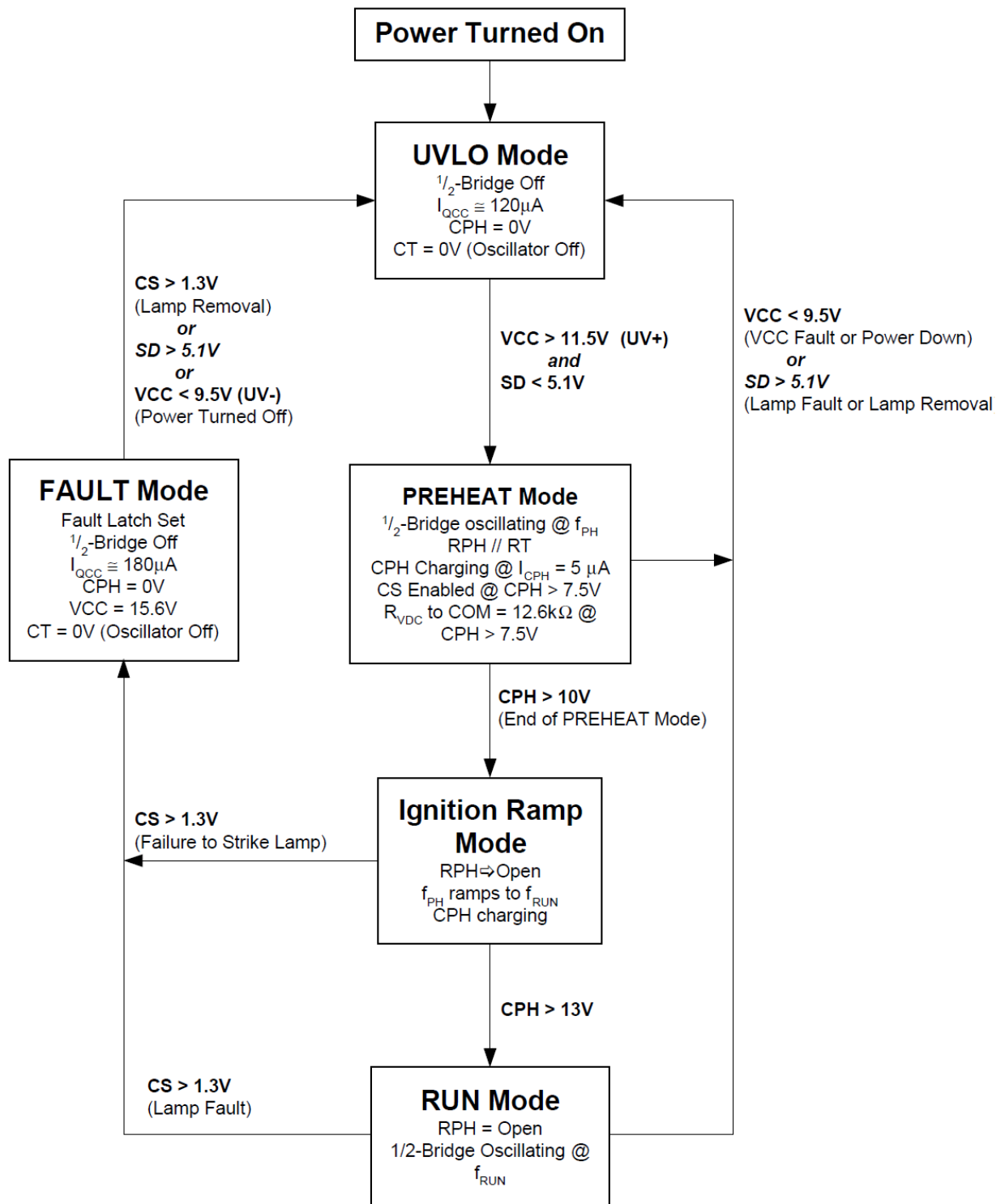


Рис. 1.11. Діаграма стану

1.5 Висновки по розділу 1

В першому розділі я повністю проаналізував роботу напівмістового драйвера IR2156, а також детально розписав блок-схему та режими роботи даної інтегральної мікросхеми, і навчився методам як можна нею керувати, переключати режими роботи.

Також дослідив і розписав важливе питання для своєї роботи, як запрограмувати частоту генерації драйвера, вона залежить напряму від часу за який розряджається конденсатор СТ. Виходячи із цього ми можемо керувати перестройкою по частоті просто подаючи на контакт СТ короткі імпульси коли це буде нам потрібно.

РОЗДІЛ 2

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОПИС РОБОТИ ІНДУКЦІЙНОЇ ПЕЧІ, ТИПОВА СХЕМА ЗАСТОСУВАННЯ

2.1 Принцип роботи індукційного нагрівача

Індукційний нагрів неможливий без використання трьох основних елементів:

- індуктора;
- генератора;
- нагрівального елемента.

Індуктор являє собою котушку, зазвичай виконану з мідного дроту, з її допомогою генерують магнітне поле. Генератор змінного струму використовують для отримання високочастотного потоку зі стандартного потоку домашньої електромережі з частотою 50 Гц. Як нагрівальний елемент застосовується металевий предмет, здатний поглинати теплову енергію під впливом магнітного поля.

Якщо правильно поєднати ці елементи, можна отримати високопродуктивний прилад, який прекрасно підходить для підігріву рідкого, або газового теплоносія. За допомогою генератора електричний струм з необхідними характеристиками подається на індуктор, тобто на мідну котушку. При проходженні через неї потік заряджених частинок формують магнітне поле.

Принцип дії індукційних нагрівачів заснований на виникненні електрострумів всередині провідників, що з'являються під впливом магнітних полів.

Особливість поля полягає в тому, що воно має здатність на високих частотах змінювати напрямок електромагнітних хвиль. Якщо в це поле помістити який-небудь металевий предмет, він почне нагріватися без безпосереднього контакту з індуктором під впливом створених вихрових струмів.

Високочастотний електричний струм, що надходить від інвертора до індукційної котушки, створює магнітне поле з постійно змінюючим вектором магнітних хвиль (рис. 2.1). Поміщений в це магнітне поле метал швидко розігрівається.

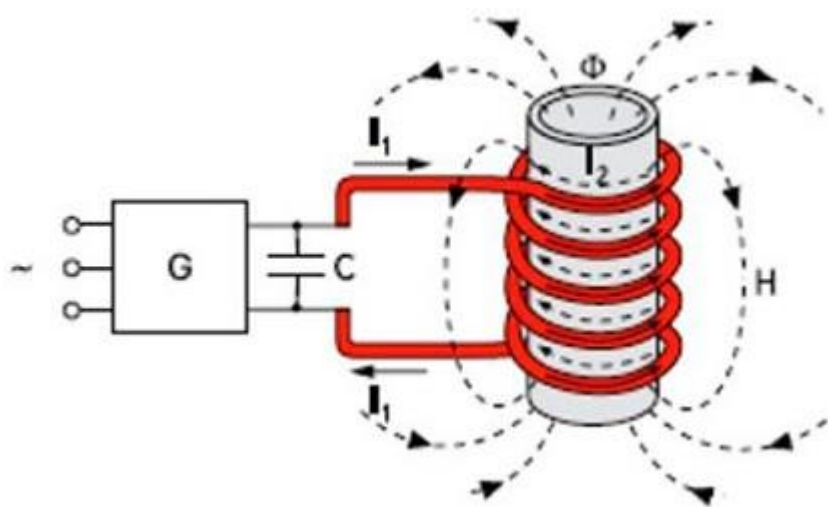


Рис. 2.1 Схема створення змінних магнітних полів в котушці

Відсутність контакту із котушкою дозволяє зробити втрати енергії при переході з одного виду в інший неістотними, чим і пояснюється підвищений ККД індукційних котлів.

Щоб підігріти речовину для нагрівального контуру, досить забезпечити її контакт з металевим нагрівачем. Часто як нагрівальний елемент

використовують металеву трубу, через яку просто пропускають або забезпечують контакт із речовиною.

Електромагніт індукційного приладу отримують шляхом намотування дроту навколо сердечника з феромагнетика. Отримана в результаті котушка індукції розігрівается і передає тепло нагрівачому тілу або протікаючому поруч теплоносію через теплообмінник.

2.2 Індукційний нагрів та скін ефект

Індукційний нагрів - це нагрівання матеріалів електричними струмами, які індукуються змінним магнітним полем. Отже - це нагрівання виробів з провідних матеріалів (провідників) магнітним полем індукторів (джерел змінного магнітного поля).

Індукційний нагрів проводиться наступним чином. Електропровідна (металева, графітова) заготівля поміщається в так званий індуктор, що представляє собою один або кілька витків дроту (найчастіше мідного). У індукторі за допомогою спеціального генератора наводяться потужні струми різної частоти (від десятка Гц до декількох МГц), в результаті чого навколо індуктора виникає електромагнітне поле. Електромагнітне поле наводить в заготівлі вихрові струми. Вихрові струми розігрівають заготовку під дією джоулевого тепла.

На високій частоті вихрові струми витісняються утвореним ними ж магнітним полем в тонкі поверхневі шари заготовки Δ (скін-ефект), в результаті чого їх щільність різко зростає і заготівля розігрівається. Розташовані нижче шари металу прогриваються за рахунок теплопровідності. Важливий не струм, а велика щільність струму. У скін-шарі Δ щільність струму збільшується в e раз щодо щільності струму в заготівлі, при цьому в скін-шарі виділяється 86.4% тепла від загального тепловиділення. Глибина скін-шару залежить від частоти випромінювання: чим вище частота, тим тонше скін-шар. Також вона залежить від відносної магнітної проникності μ матеріалу заготовки.

Для заліза, кобальту, нікелю і магнітних сплавів при температурі нижче точки Кюрі μ має величину від декількох сотень до десятків тисяч. Для інших матеріалів (сплави, кольорові метали, графіт, електропровідна кераміка і т. д.) μ приблизно дорівнює одиниці.

Формула для обчислення глибини скін-шару в мм:

$$\Delta = 503 \sqrt{\frac{\rho}{\mu \cdot f}}$$

Де ρ - питомий електричний опір матеріалу заготовки при температурі обробки, (Ом \cdot м), f - частота електромагнітного поля, що генерується індуктором, (Гц).

Наприклад, при частоті (2 МГц) глибина скін-шару для міді близько (0,047 мм), для заліза (0,0001 мм).

Індуктор сильно нагрівається під час роботи, так як сам поглинає власне випромінювання. До того ж він поглинає теплове випромінювання від розпеченої заготовки. Роблять індуктори з мідних трубок, охолоджуваних водою. Вода подається відсмоктування - цим забезпечується безпека в разі пропалу чи іншої розгерметизації індуктора.

2.3 Приклад схеми типового застосування

Більшого поширення мають тигельні печі, які не мають магнітопровода. Відсутність в печі магнітопровода призводить до того, що магнітне поле, створюване струмами промислової частоти, сильно розсіюється в навколишньому просторі. І для того, щоб збільшити щільність магнітного поля в діелектричному тиглі з матеріалом для плавлення, необхідно використовувати більш високі частоти. При цьому вважається, що якщо

контур індуктора налаштований в резонанс з частотою живлячої напруги, а діаметр тигеля порівняти з довжиною хвилі резонансу, то в районі тигеля може сконцентруватися до 75% енергії електромагнітного поля.

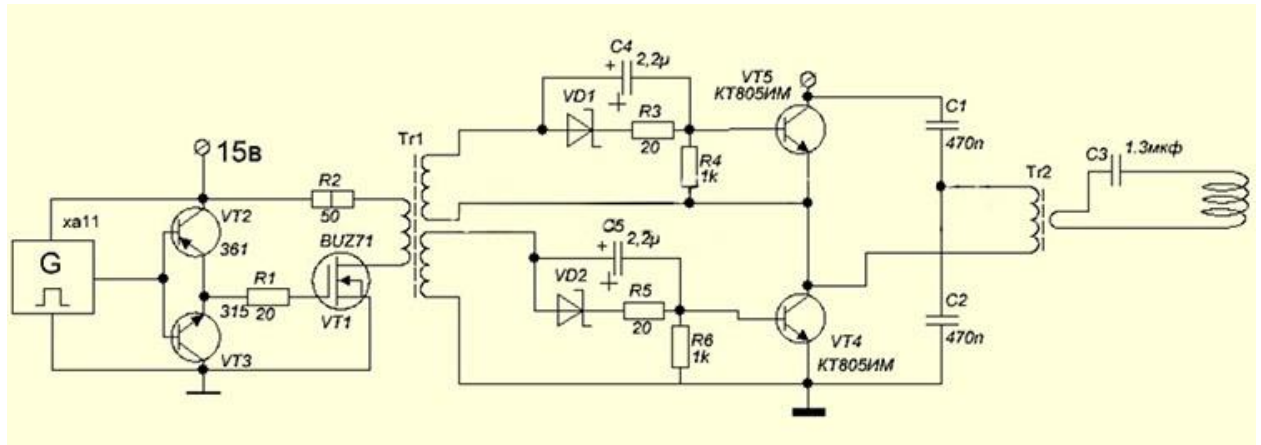


Рис. 2.2 Схема виготовлення індукційної печі

Як показали дослідження, для забезпечення ефективного плавлення металів в тигельній печі бажано щоб частота живлення напруги індуктора перевищувала резонансну частоту в 2-3 рази. Тобто, така піч працює на другий або третій частотній гармоніці. Крім того, при роботі на таких підвищених частотах відбувається краще перемішування сплаву, що поліпшує його якість. Режим із застосуванням ще більших частот (п'ятої або шостої гармоніки) може використовуватися для поверхневої цементації або гарту металу, що пов'язано з появою скін-ефекту, тобто витісненням електромагнітного поля високої частоти до поверхні заготовки.

Генератор змінного струму високої частоти - інший найважливіший елемент тигельної печі індукційного типу. Можна розглянути кілька типів таких генераторів:

- генератор на транзисторі;
- генератор на тиристорі;
- генератор на МОП транзисторах.

Детальніше розглянемо генератор на МОП транзисторах, так як на ньому можна згенерувати струм самої більшої частоти (рис. 2.3).

Схема генератора на МОП-транзисторах включає чотири МОП-транзистора типу IRF520 і IRFP450 і являє собою двотактний генератор з незалежним збудженням і індуктором, включеним в бруківку схему. Для генератора використовується мікросхема типу IR2153. Для охолодження транзисторів потрібно радіатор не менше 400 см² і повітряне обдування. Цей генератор може забезпечувати потужність живлення до 1 кВт і міняти частоту коливань в межах від 10 кГц до 10 МГц. Завдяки цьому піч, яка використовує генератор такого типу, може працювати як в режимі плавлення, так і поверхневого нагріву.

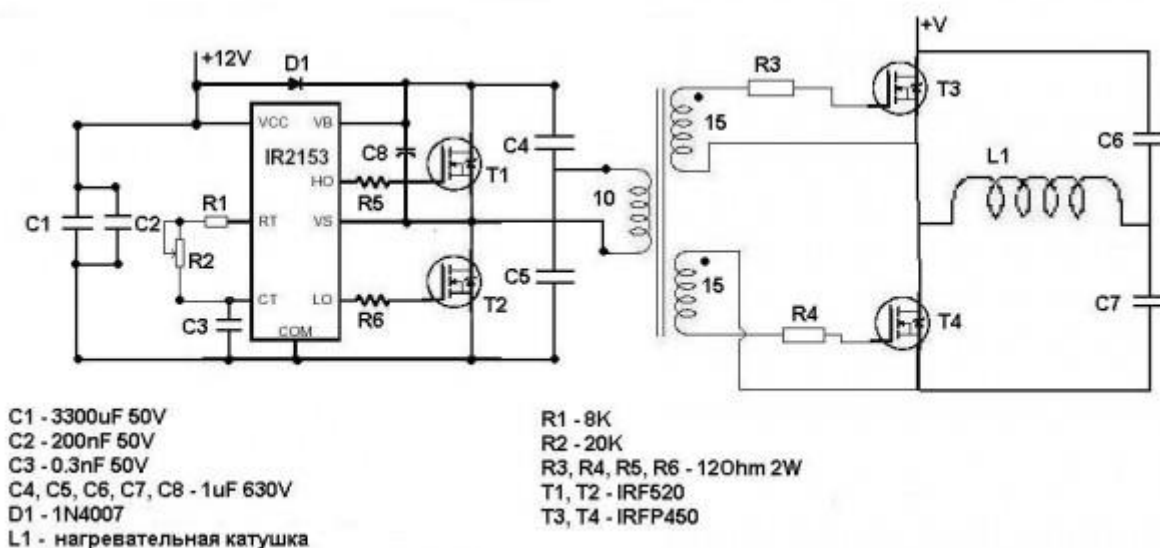


Рис. 2.3 Схема індукційної печі з використанням генератора на МОП транзисторах (драйвер IR2153 подібний до нашого зразка)

2.4 Переваги пристрою

Піч плавильна індукційна стала застосовуватися відносно недавно. На виробничих майданчиках встановлюються знамениті доменні печі та інші

різновиди обладнання для плавлення. Подібна піч для плавки металу має наступні переваги:

- Застосування принципу індукції дозволяє робити устаткування компактним. Саме тому не виникає проблем з їх розміщенням в невеликих приміщеннях. Прикладом можна назвати доменні печі, які можуть встановлюватися виключно в підготовлених приміщеннях.
- Результати проведених досліджень вказують на те, що ККД становить практично 100%.
- Висока швидкість плавки. Високий показник ККД визначає те, що на розігрів металу йде набагато менше часу, якщо порівнювати з іншими печами.
- Деякі печі при плавці можуть призвести до зміни хімічного складу металу. Індукційна займає перше місце по чистоті розплаву. Створювані струми Фуко проводять нагрів заготовки зсередини, за рахунок чого виключається ймовірність потрапляння в склад різних домішок.

Саме остання перевага визначає поширення індукційної печі в ювелірній справі, так як навіть невелика концентрація сторонньої домішки може негативно позначитися на отриманому результаті.

2.5 Висновки по розділу 2

В даному розділі було розглянуто принцип роботи індукційної печі, та їхніх різновидів, частоти необхідні для роботи, та схеми типового застосування. Для подальшої роботи було вибрано індукційну піч із тигельним нагріванням так як вона працює на високих частотах, і ми зможемо використати скін-ефект для нашого індуктора.

Також був вибраний тип генератора для живлення печі, для генерації змінного струму на високих частотах, використаємо генератор на МОП транзисторах, керування буде здійснювати ІС вибрана раніше.

РОЗДІЛ 3

ОПИС ТА СХЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ ЧАСТОТОЮ

3.1 Основні типи регуляторів

Аналогові регулятори в системах підлеглого керування електроприводами будуються на основі операційних підсилювачів (ОУ) - підсилювачів постійного струму з високим входним і дуже низьким вихідним опорами. Технологія інтегральних мікросхем дозволяє в даний час виготовляти високоякісні і недорогі ОУ. В деякій частині свого робочого діапазону ОУ веде себе як лінійний підсилювач напруги з дуже великим коефіцієнтом посилення ($10^5 - 10^6$). Якщо в схемі ОУ не передбачений негативний зворотний зв'язок з виходу на вхід, то через високий коефіцієнт посилення, він обов'язково потрапляє в режим насичення. Тому схеми регулятора на базі ОУ містять негативний зворотний зв'язок.

Операційний підсилювач отримав свою назву завдяки тому, що з його допомогою можуть виконуватися різні математичні операції, такі як множення, підсумовування, інтегрування і диференціювання. Типові регулятори будуються на базі інвертуючого підсилювача, причому входні і вихідні ланцюги, крім опорів, можуть містити ємності.

Оскільки коефіцієнт посилення ОУ великий ($K_u = 10^5 - 10^6$), а вихідна напруга $U_{вих.}$ обмежена напругою живлення, то потенціал точки А (рис. 3.1) $U_{CPA} = I_{вих} / K_u$ близький до нуля, тобто точка А виконує функцію уявної землі (заземлювати точку А можна, інакше схема стане непрацездатною).

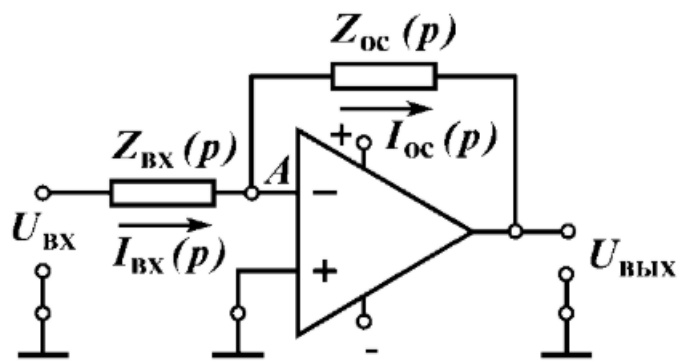
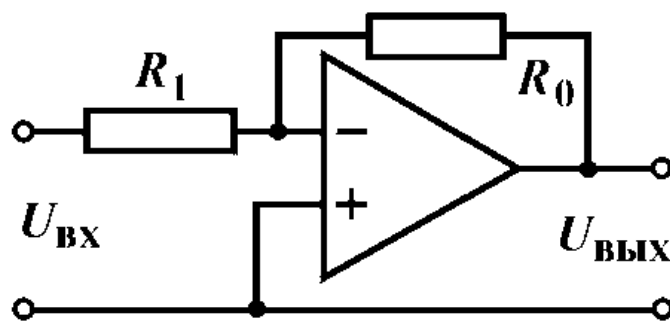
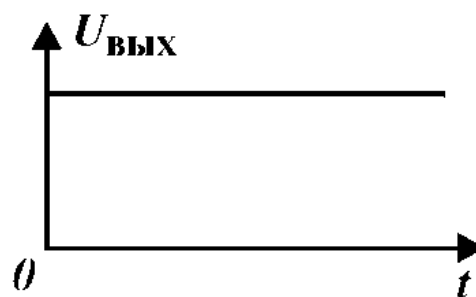


Рис. 3.1 Структура аналогового регулятора, виконаного на операційному підсилювачі. Схема пропорційного регулятора з керованим обмеженням вихідного сигналу

Схеми, передавальні функції і перехідні функції різних типів регуляторів:



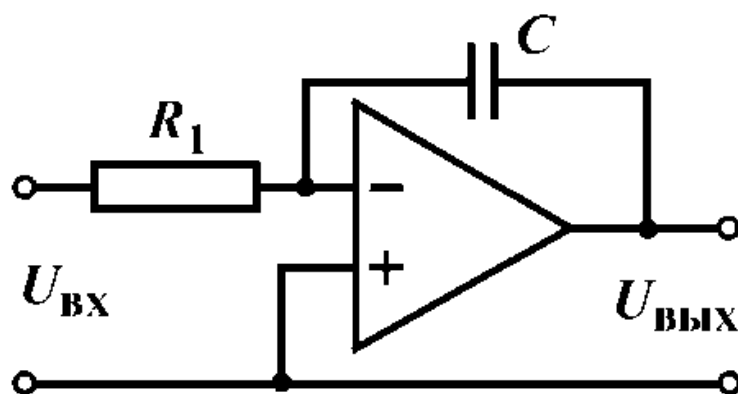
а)



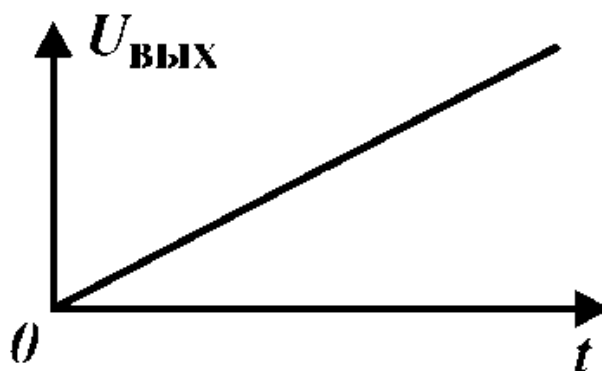
б)

Рис. 3.2 Тип регулятора Пропорційний (П)

а) Схема регулятора, б) Перехідна функція регулятора



а)



б)

Рис. 3.3 Тип регулятора Інтегральний (І)

а) Схема регулятора

б) Перехідна функція регулятора

Передавальна функція регулятора, рівняння:

$$W_p(p) = \frac{I}{\tau_p} = \frac{K_p}{p}$$

$$K_p = \frac{I}{\tau}$$

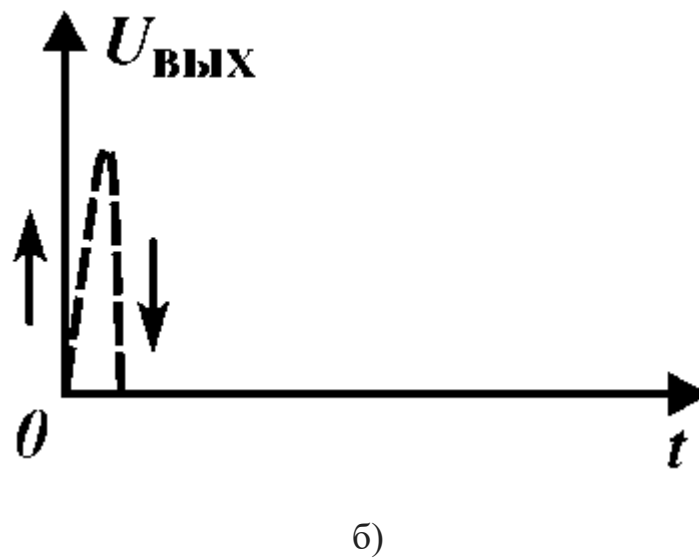
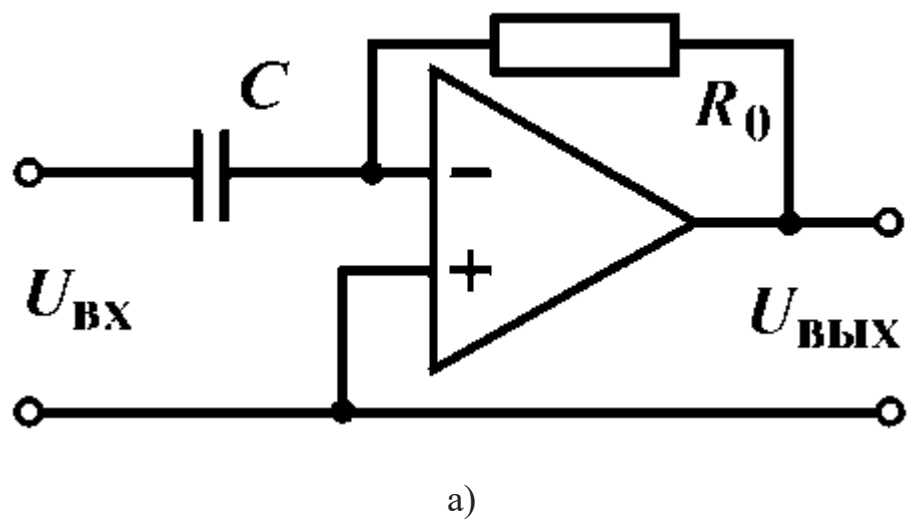


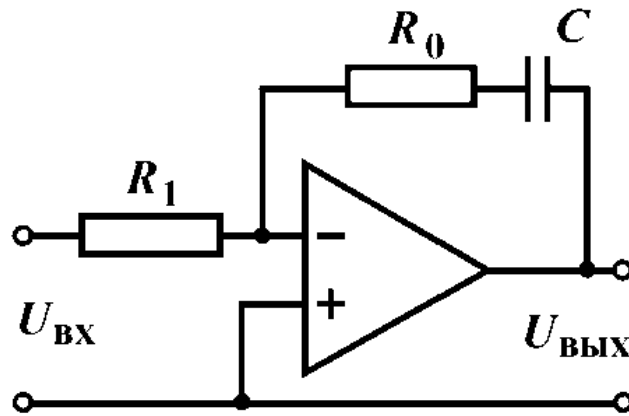
Рис. 3.4 Тип регулятора Диференційний (Д)

а) Схема регулятора

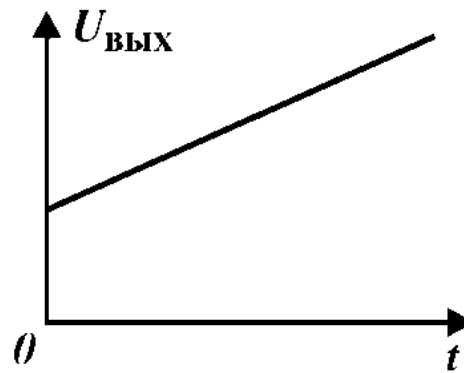
б) Перехідна функція регулятора

Передавальна функція регулятора, рівняння:

$$W_p(p) = \tau p = K_p p$$



а)



б)

Рис. 3.5 Тип регулятора пропорційно-інтегральний (ПІ)

а) Схема регулятора

б) Перехідна функція регулятора

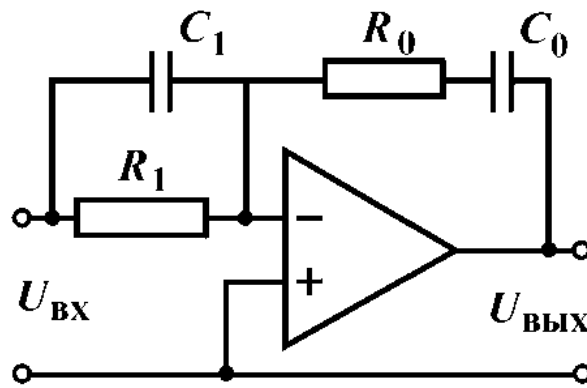
Передавальна функція регулятора, рівняння:

$$W_p(p) = K_p \frac{\tau_1 p + 1}{\tau_0 p} = K_p + \frac{1}{\tau_0 p}$$

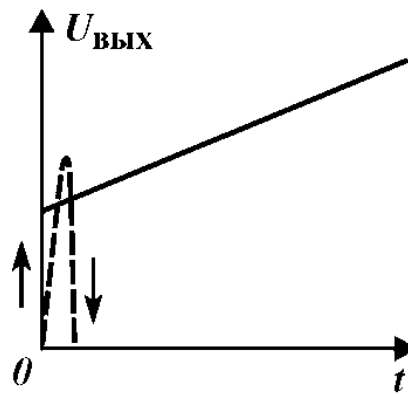
$$K_p = \frac{R_0}{R_1}$$

$$\tau_1 = CR_0$$

$$\tau_0 = CR_1$$



а)



б)

Рис. 3.6 Тип регулятора
пропорційно-інтегральний-диференційний (ПІД)

а) Схема регулятора

б) Перехідна функція регулятора

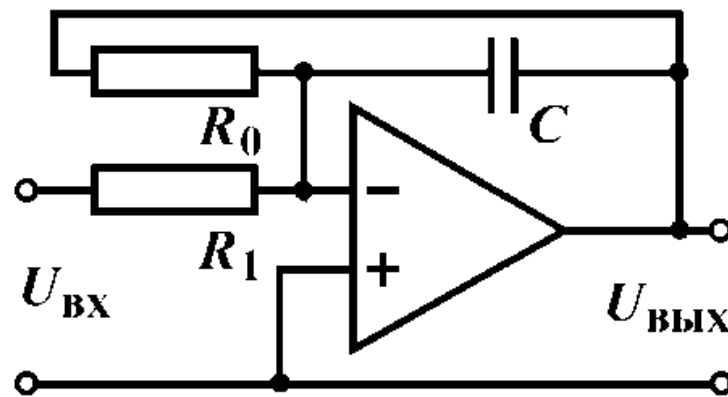
Передавальна функція регулятора, рівняння:

$$W_p(p) = K_p \frac{(\tau_1 p + 1)(\tau_2 p + 1)}{\tau_1 p} = K_p \left(1 + \frac{\tau_2}{\tau_1} \right) + \frac{1}{\tau_n} p + \tau_d p$$

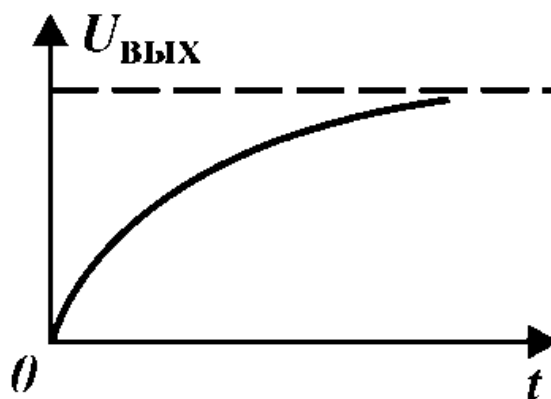
$$K_p = \frac{R_0}{R_1}$$

$$\tau_1 = R_0 C_0; \tau_2 = R_1 C_1$$

$$\tau_n = R_1 C_0; \tau_d = R_0 C_1$$



а)



б)

Рис. 3.7 Тип регулятора Аперіодичний (А)

а) Схема регулятора

б) Перехідна функція регулятора

Передавальна функція регулятора, рівняння:

$$W_p(p) = \frac{K_p}{\tau p + 1}$$

$$K_p = \frac{R_0}{R_1}$$

$$\tau = R_1 C$$

Для отримання пропорційного регулятора (П-регулятора, див. рис. 3.1 та рис. 3.2) на вхід і в ланцюг зворотного зв'язку ОУ включають резистори, інтегрального регулятора (І-регулятора, рис. 3.3) у вхідний ланцюг включають резистор, а в ланцюг зворотного зв'язку – конденсатор, ПІ-регулятора (див. рис. 3.5) у вхідний ланцюг - резистор, а в ланцюг зворотного зв'язку - послідовно з'єднані резистор і конденсатор. ПІД-регулятор (рис. 3.6) може бути виконаний на одному підсилювачі за допомогою активно-ємнісних кіл на вході і в ланцюзі зворотного зв'язку.

Промисловістю випускаються різні типи операційних підсилювачів на інтегральних мікросхемах (ІМС) - як круглої, так і прямокутної форми. Найбільшого поширення для побудови регуляторів отримали ОУ типів К140УД7, К553УД2, К157УД2 та інші.

Обмеження координат електроприводу (струму, швидкості та інших), здійснюється включенням в структуру регулятора зовнішнього контуру регулювання вузлів обмеження. Останні можуть бути керованими і некерованими. На рис. 3.8 приведена схема обмеження вихідної напруги пропорційного регулятора із відсікаючими діодами VD1 та VD2 і керованою опорною напругою $U_{оп}$. Схема дозволяє отримати несиметричну щодо початку координат характеристику вхід-вихід з різним рівнем обмежуючої вихідної напруги (рис. 3.9). Можливі й інші варіанти схем керованого обмеження вихідної напруги ОП з використанням транзисторів.

До останнього часу в автоматизованому електроприводі виконавчих механізмів вітчизняних установок основне застосування отримали методи на

основі аналогової обчислювальної техніки. За останні роки поруч проектних і науково-дослідних організацій ведуться роботи зі створення мікропроцесорних систем управління. У порівнянні з аналоговими системами мікропроцесорні системи мають ряд переваг.

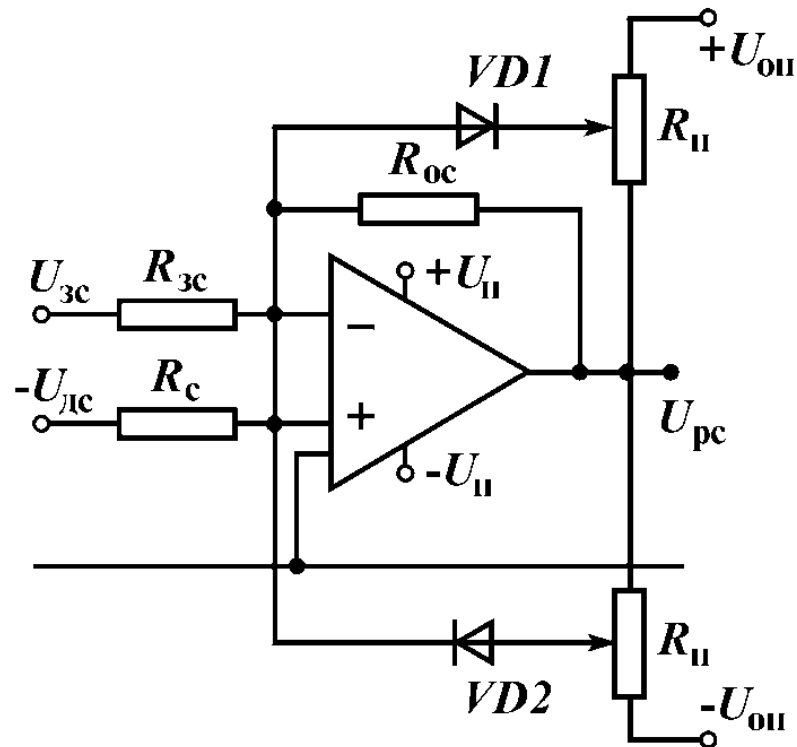


Рис. 3.8 Схема пропорційного регулятора з керованим обмеженням вихідного сигналу

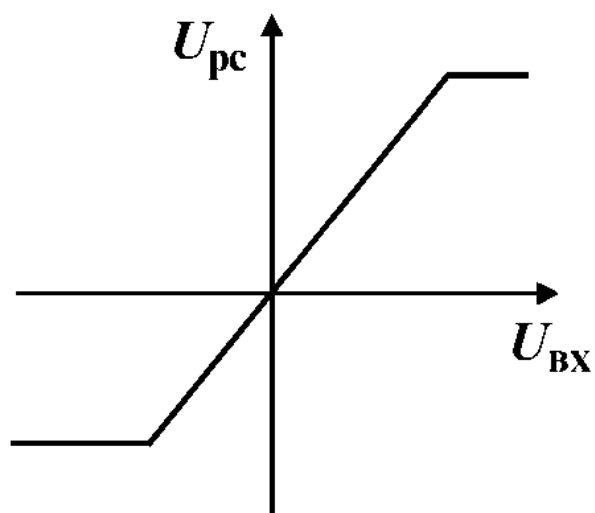


Рис. 3.9 Характеристика вхід-вихід регулятора з керованим обмеженням вихідного сигналу

3.2 Вибраний метод регулювання

У нашій роботі регулювання по частоті коливань має бути автоматичним, так як регулювати напругою та її імпульсами можна досягти за допомогою компараторів я вибрав саме цей метод застосування. Регулювання по частоті має працювати в ті моменти часу коли наш індуктор починає працювати на резонансній частоті та досягає певної небезпечної амплітуди коливань, в таких моментах потрібно збільшити частоту коливань трохи вище резонансної.

Для керування частотою на ІС відповідає конденсатор СТ, тобто час його заряду та розряду (див. рис. 3.10).

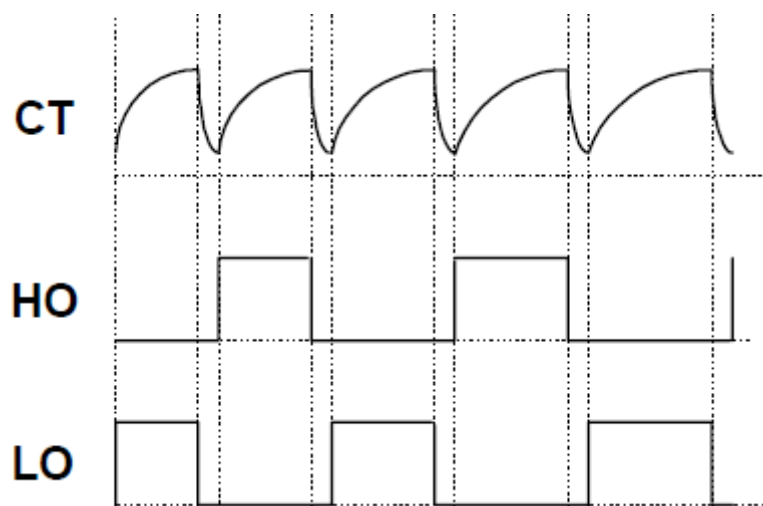


Рис. 3.10 Осциллограмма роботи конденсатора СТ

Як ми можемо спостерігати час за який заряджається конденсатор напряму впливає на частоту автогенератора, тобто якщо ми зможемо

впливати на швидший заряд конденсатора відносно його реального часу заряду, тим самим ми збільшимо частоту на генераторі.

Такого ефекту можна досягти прямою подачею імпульсів напруги певної амплітуди на контакт конденсатора для його швидшого заряду.

Класична синхронізація або захват частоти має місце тоді, коли на автогенератор, який працює на частоті F_0 , впливає зовнішній сигнал з частотою F_1 , близькою до F_0 . Синхронізація полягає в зміні частоти коливань генератора, в результаті якої вона стає рівній частоті зовнішнього впливу. У нас же імпульси синхронізації мають формуватися по досягненні заданої амплітуди коливань в резонансному послідовному контурі за допомогою компараторів, при живленні цього контуру від підсилювача потужності (інвертора), який посилює коливання автогенератора, на який впливають ці імпульси синхронізації. За рахунок цього частота коливань автогенератора завжди буде вище частоти резонансу контуру, причому чим менше задана амплітуда коливань в контурі, тим більше буде частота коливань.

Такий метод нам дає гарантоване обмеження амплітуди коливань в резонансному контурі навіть при деградації батареї поліпропіленових конденсаторів, коли ємність цієї батареї зменшується в часі, а частота резонансу контуру збільшується.

Наприклад, в експериментальному генераторі, номінальна ємність батареї конденсаторів була $1,6\text{мкФ} \pm 5\%$, а стала із плином певного часу $1,4\text{мкФ} \pm 0,1\%$. При дуже довгій роботі пристрою ємність батареї може зменшитись майже до 0мкФ , це зв'язано із тим що конденсатори дуже сильно перегріваються через проходження через них дуже великих токів понад 200А , таке сильне зниження ємності можна скоротити або навіть припинити зануренням конденсаторних поліпропіленових батарей в рідке масло, або іншу діелектричну рідину, ця суміш має служити для конденсаторів радіатором, щоб вони не так сильно розігрівались.

Є також метод синхронізації інвертора з регулюванням частоти багатооборотним змінним резистором. Експлуатація такого інвертора небезпечна тим, що можна задати неприпустиму частоту, при якій або вийдуть з ладу силові транзистори, або швидко деградує батарея конденсаторів, що не припустиму для нашого приладу.

3.3 Схема та осцилограма регулятора

Схема регулювання частотою строїться на двох компараторах з'єднаних послідовно, їхній вихід виходить на контакт конденсатора СТ який програмує частоту автогенератора (рис. 3.11).

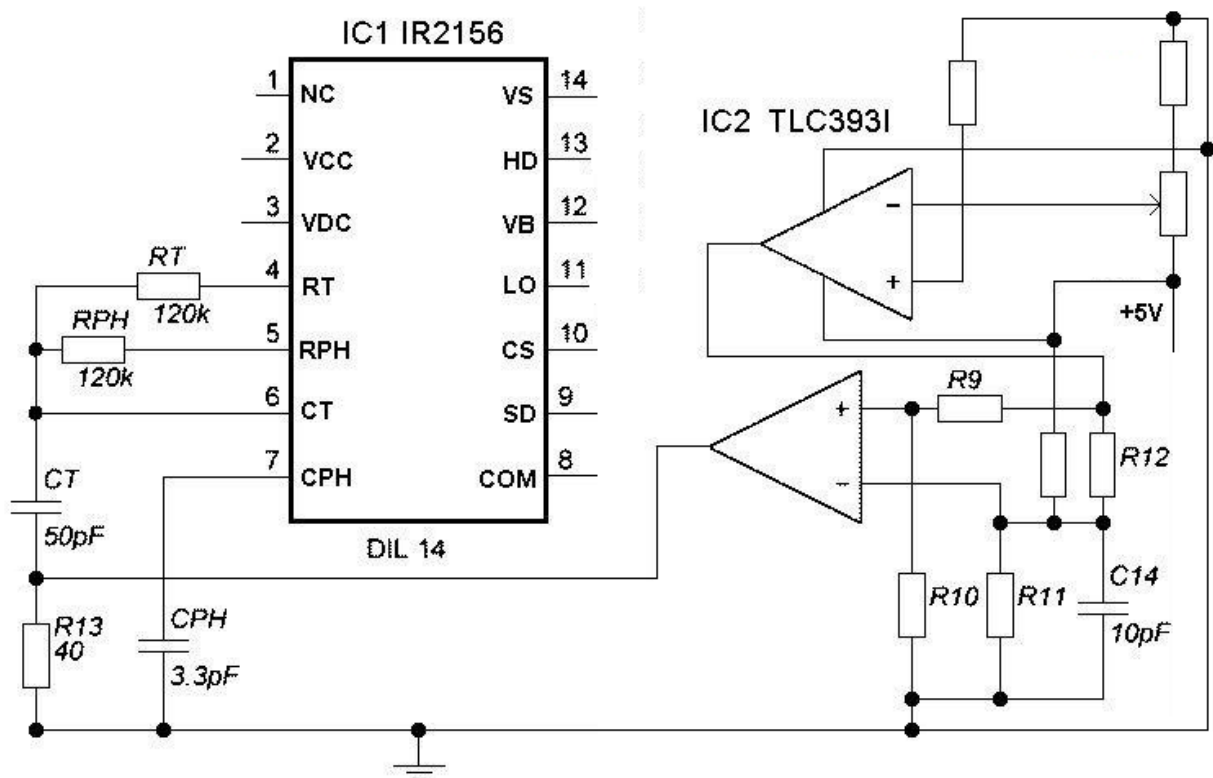


Рис. 3.11 Схема регулювання частоти

Схема регулювання працює від живлення в 5В яке надходить на компаратор від DC-DC перетворювача. Регулювання здійснюється генерацією

прямокутних імпульсів напруги які подаються на конденсатор СТ для його швидшого заряду тим самим змінюючи частоту автогенератора, регулювання відбувається за обставин коли амплітуда частоти на індукторі перевищує допустиму, це може відбуватись при резонансі. Осцилограма сигналу на конденсаторі СТ, та на виході компаратора при регулюванні частотою показана на рис. 3.12.

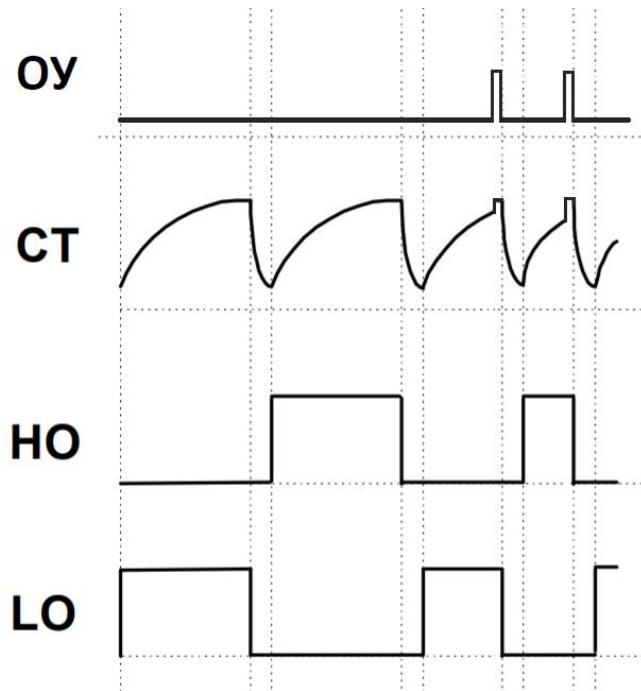


Рис. 3.10 Осциллограмма роботи конденсатора СТ та компаратора при регулюванні частотою

3.4 Висновки по розділу 3

В даному розділі я розглянув методи регулювання напругою на компараторах та схеми їх підключення, та вибрав на основі них метод для регулювання частотою автогенератора за допомогою імпульсів напруги на двох операційних підсилювачах.

РОЗДІЛ 4

СХЕМА ЕЛЕКТРИЧНА ПРИНЦИПОВА

4.1 Опис основних компонентів

Ключовим елементом схеми (рис. 4.1) є резистори R_T , R_{PH} та конденсатор C_T які відповідають за програмування робочої частоти та мертвого часу між імпульсами на пів містовому інверторі, а також конденсатор C_{PH} відповідає за час роботи драйвера у режимі розігріву. Програмування параметрів відбувається за рахунок номіналів компонентів, дизайнерські рівняння можна подивитись в розділі 1.3.

Проведемо розрахунок параметрів, так як індуктивність індуктора рівна 1.9мкГн , а ємність поліпропіленової конденсаторної батареї 1.4мкФ , розрахуємо резонансну частоту індуктора:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{1.9 \cdot 1.4 \cdot 10^{-12}}} = 97580\text{Гц}$$

Розрахуємо мертвий час між імпульсами на контактах драйвера HO та LO , нехай він буде 0.1мкс , такий незначний час не буде значно впливати на роботу пристрою:

$$C_T = \frac{t_{DT}}{2000}$$

$$C_T = \frac{0.1 \cdot 10^{-6}}{2000} = 50 \text{ пФ}$$

Так як резонансна частота рівна 97.6кГц виберемо робочу частоту трохи меншу, наприклад 95кГц і розрахуємо її:

$$RT = \frac{1}{1.12 \cdot CT \cdot f_{RUN}} - 3333$$

$$RT = \frac{10^{12}}{1.12 \cdot 50 \cdot 95000} - 3333 = 184640 \text{ Ом} \approx 180 \text{ кОм}$$

Так як режим розігріву драйвера для нас не важливий частотний резистор RPH використаєм такогож самого номіналу як і робочий, тобто 180 кОм, а час виконання режиму запрограмуєм незначним $t_{ph} = 10 \text{ мкс}$, щоб ніяким чином не впливати на корисну роботу мікросхеми:

$$C_{ph} = t_{ph} \cdot 0.331 \cdot 10^{-6}$$

$$C_{ph} = 10^{-5} \cdot 0.331 \cdot 10^{-6} = 3.31 \text{ пФ} \approx 3.3 \text{ пФ}$$

Індуктор має живитись від 4В які будуть надходити напряму від вторинних котушок (їх має бути декілька, зєднаних паралельно) трансформатора (рис. 1.2), на первину котушка надходить 300В та віддубаєця керування силовими транзисторами (рис. 1.3).

Подальше живлення логіки драйвера IR2156 також буде надходити від вторичної котушки трансформатора, випрямленою напругою (15В) через діодний міст (рис. 1.2).

Живлення яке потребують операційні підсилювачі для коректної роботи (+5В) буде до них натходити від DC – DC перетворювача який в свою чергу підключений до діодного мосту вторинної котушки трансформатора, напруга (+15В) яка живить ІС.

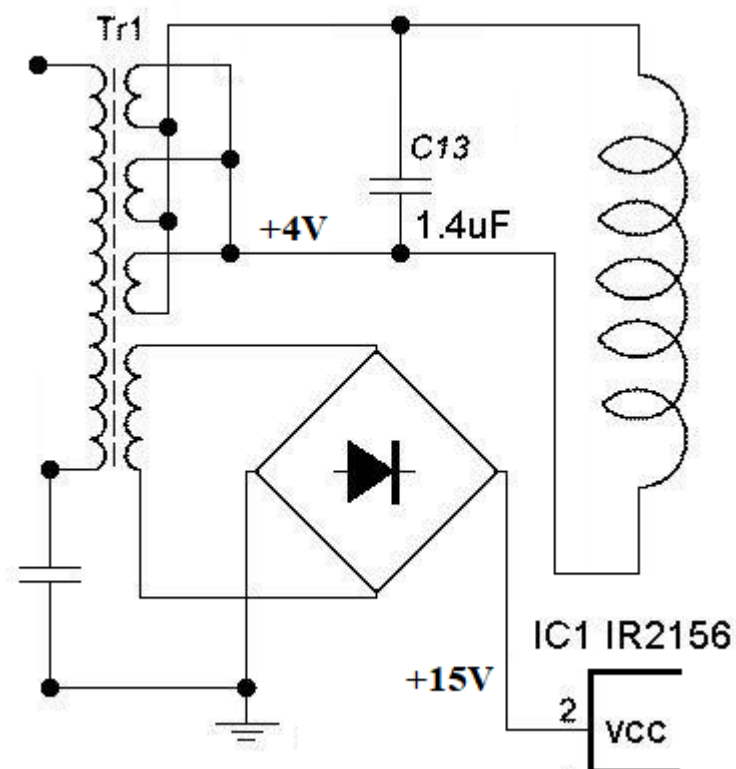


Рис. 1.2 Трансформатор живлення індукційної печі та мікросхеми IR2156

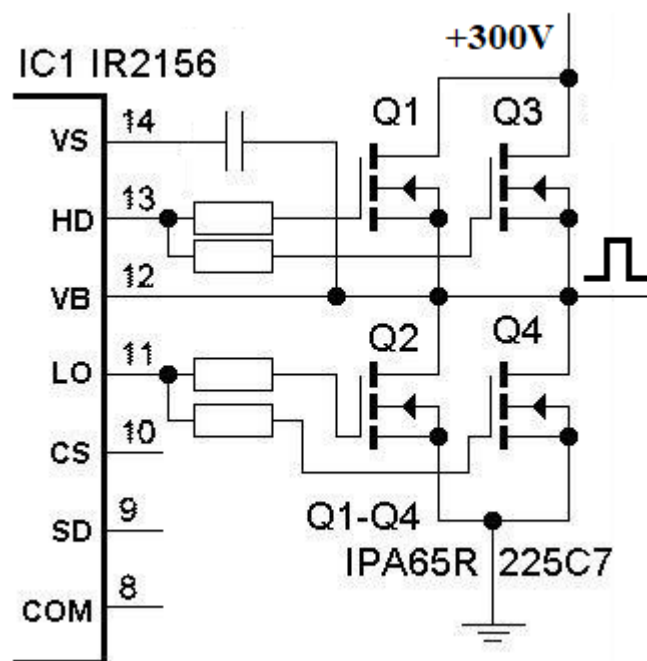


Рис. 1.3 Инвертор на силовых транзисторах

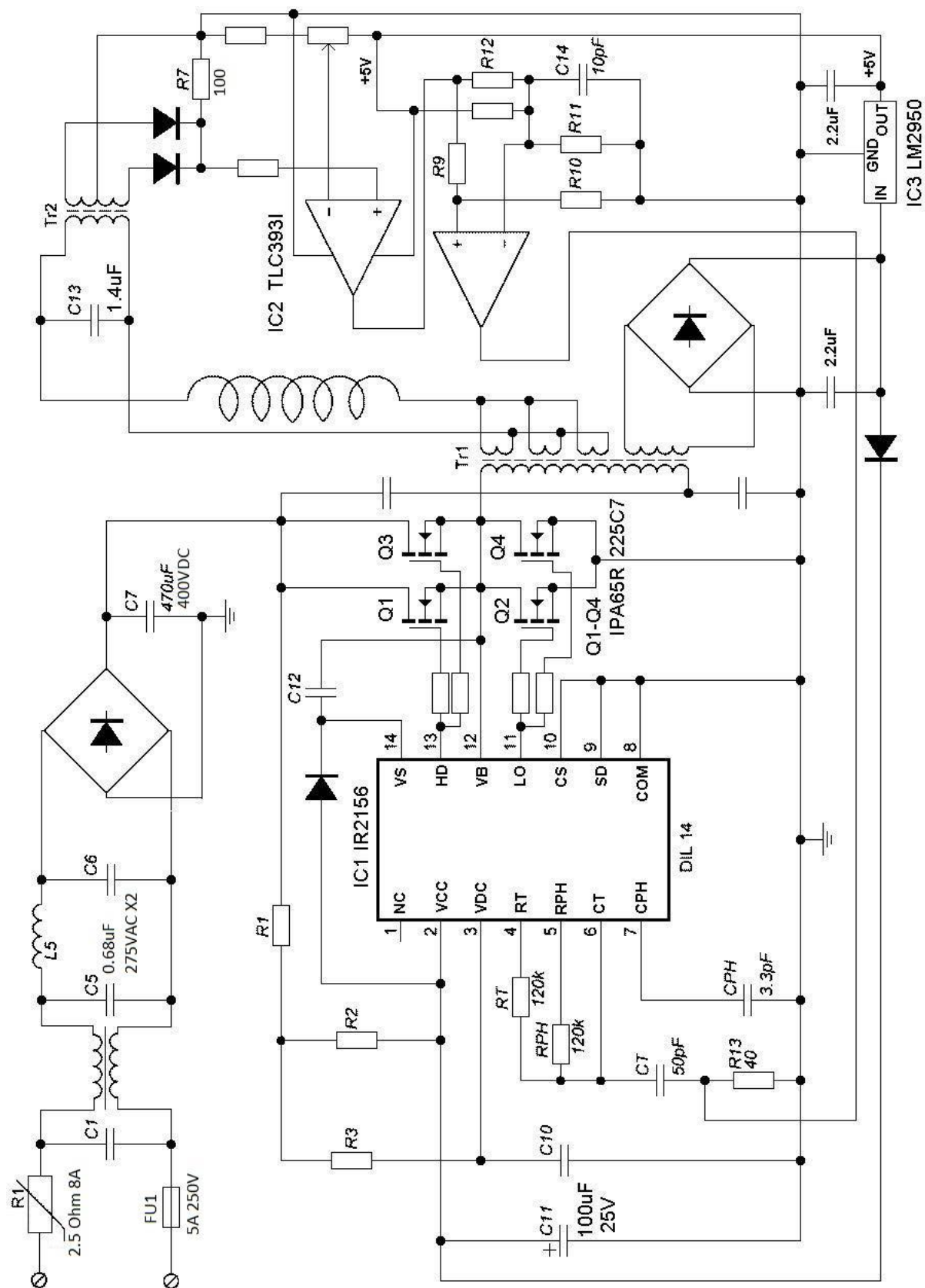


Рис 4.1 Схема приладу індукційного розігріву

4.2 Висновки по розділу 4

В останньому розділі була розрахована резонансна частота на конторі індуктора яка рівна 95кГц, а також вибрані номінали компонентів які програмують роботу драйвера, а саме RT (робоча частота генерації), RPH (частота генерації розігріву), CT (мертвий час), CPH (час режиму попереднього розігріву).

Були вибрані методи живлення IC IR2156 та ОУ, живлення надходить від трансформатора через діодний міст.

Обрана напруга в 4В на якій буде працювати індукційна піч, та метод керування частотою трансформатора через півмостовий інвертор на чотирьох силових транзисторах.

ВИСНОВКИ

В результаті виконання дипломної роботи було розроблено алгоритм безпечного входу в робочий режим резонансного інвертора індукційної печі на основі мікросхеми IR2156 від Vishay (International Rectifier).

При дослідженні блок схеми IR2156 стало відомо, що за допомогою номіналів зовнішніх компонентів при їхній зміні можна застосувати схему управління інвертором індукційної печі, використовуючи метод частотного регулювання, що полягає в управлінні вихідною потужністю індукційної печі на основі зміни та керування її робочої частоти.

Як об'єкт дослідження було вибрано індукційну піч із тигельним нагріванням так як саме вона працює на високих частотах, а також індуктор вибраний із котушки великого діаметру та пустотою в середині так як робота на високих частотах призводить до появи скін-ефекту, а для нашої роботи лишня вага індуктора не потрібна.

Резонансна частота індуктора печі розрахована як 90кГц, тобто розігрів матеріалів буде проводитись близько біля неї.

Актуальність даної роботи полягає в тому, що метод індукційного плавлення є сильно вразливими до струмів на резонансних частотах, що призводить до зменшення терміну експлуатації приладів та загрожує безпеці людей при їх використанні. Саме тому впровадження, дослідження, та розробка інноваційних методів захисту від резонансних перевантажень, рух вперед у розвитку інновацій та розповсюдженні індукційного нагріву як в побуті так і у промисловості.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Лозинский М. Г. Промышленное применение индукционного нагрева. — М.: Изд-во АН СССР, 1948. — 471 с.
2. Бабат Г. И., Свенчанский А. Д. Электрические промышленные печи. — М.: Госэнергоиздат, 1948. — 332 с.
3. Бурак Я. И., Огирко И. В. Оптимальный нагрев цилиндрической оболочки с зависящими от температуры характеристиками материала // Мат. методы и физ.-мех. поля. — 1977. — Вып. 5. — С. 26-30.
4. Васильев А. С. Ламповые генераторы для высокочастотного нагрева. — Л.: Машиностроение, 1990. — 80 с. — (Библиотечка высокочастотника-термиста; Вып. 15). — 5300 экз. — ISBN 5-217-00923-3.
5. Применение токов высокой частоты в электротермии / Под ред. А. Е. Слухоцкого. — Л.: Машиностроение, 1968. — 340 с.
6. Фогель А. А. Индукционный метод удержания жидких металлов во взвешенном состоянии / Под ред. А. Н. Шамова. — 2-е изд., испр. — Л.: Машиностроение, 1989. — 79 с. — (Библиотечка высокочастотника-термиста; Вып. 11). — 2950 экз. — .
7. Слухоцкий А. Е. Индукторы. — Л.: Машиностроение, 1989. — 69 с. — (Библиотечка высокочастотника-термиста; Вып. 12). — 10 000 экз. — ISBN 5-217-00571-8.
8. Интегральная схема управления балластом [электронный ресурс] // <http://www.gaw.ru/html.cgi/txt/ic/IR/control/ballast/IR2156.htm>
9. Полумостовой импульсный стабилизированный преобразователь напряжения, источник питания. Преимущества, недостатки, применение. Принцип работы. Примеры схем. Расчет [электронный ресурс] // <https://gyrator.ru/power-polumostovoi>

10. Индукционная печь своими руками: принцип действия, конструкции и параметры, использование для обогрева [электронный ресурс] // <https://microklimat.pro/otopitelnoe-oborudovanie/pechi/indukcionnaya-svoimi-rukami.html>
11. Основные типы регуляторов - Системы электроприводов исполнительных механизмов буровых установок [электронный ресурс] // <http://leg.co.ua/knigi/oborudovanie/sistemy-elektroprivodov-ispolnitelnyh-mehanizmov-burovyh-ustanovok-3.html>
12. Индукционный нагрев - применение в промышленности [электронный ресурс] // <https://xn--h1afsf5c.xn--p1ai/>
13. Преимущества плавки металлов в индукционных печах [электронный ресурс] // <http://www.tdm.ru/promyshlennaya-bezopasnost/prjeimushhjestva-plavki-mjetallov-v-indukcionnykh-pjechakh>
14. BALLAST CONTROL IC [электронный ресурс] // <https://www.chipfind.ru/datasheet/pdf/irf/ir2156.pdf>
15. Ballast Control, Programmable Preheat Time and Run Frequency, Programmable Deadtime in a 14-pin DIP package [электронный ресурс] // http://www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/I/R/2/1/IR2156.shtml